

MINISTERE DE LA SANTE
REGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

**ARTHROPLASTIE DE GENOU : QUEL IMPACT
SUR LA SENSIBILITE SUPERFICIELLE PLANTAIRE ?**

Mémoire présenté par Nicolas BRISVILLE,
étudiant en 3^{ème} année de masso-kinésithérapie,
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
de Masseur-Kinésithérapeute

2014-2017

SOMMAIRE

	Page
RESUME	
GLOSSAIRE	
1. INTRODUCTION.....	1
1. 1. Rappels.....	3
1. 1. 1. Rappels anatomo-physiologiques.....	3
1. 1. 1. 1. Système nerveux et sensibilité.....	3
1. 1. 1. 2. Pied.....	3
1. 1. 1. 3. Genou.....	6
1. 1. 2. Historique des différents outils d'évaluation de la sensibilité utilisés.....	6
1. 1. 2. 1. Monofilaments de Semmes-Weinstein.....	6
1. 1. 2. 2. Test de Weber ou Two-Point Discrimination test.....	7
1. 1. 2. 3. Test de Dellon ou moving-Two-Point-Discrimination test.....	8
1. 1. 3. Traitement chirurgical de la gonarthrose.....	9
1. 1. 3. 1. Epidémiologie et physiopathologie de la gonarthrose.....	9
1. 1. 3. 2. Arthroplastie du genou.....	10
2. STRATEGIE DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE.....	11
3. METHODE.....	11
3. 1. Population.....	11
3. 2. Monofilaments de Semmes-Weinstein.....	12
3. 3. Test de Weber ou Two-Point Discrimination test.....	12
3. 4. Test de Dellon ou moving-Two-Point-Discrimination test.....	13
3. 5. Protocole.....	14
3. 6. Méthode statistique.....	16
4. RESULTATS.....	16
4. 1. Monofilaments de Semmes-Weinstein.....	16
4. 2. Two-Point Discrimination.....	18
4. 3. Moving Two-Point Discrimination.....	20
4. 4. Cas particuliers.....	21
5. DISCUSSION.....	22

5. 1. Interprétation des résultats.....	22
5. 2. Limites et difficultés rencontrées.....	27
6. CONCLUSION.....	30
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

RESUME

Introduction : La prise en charge de patients traités par prothèse totale de genou (PTG) est une rééducation rencontrée couramment par le masseur-kinésithérapeute. La littérature laisse entendre que l'équilibre, la force musculaire et la proprioception, suite à l'arthroplastie, sont améliorés mais il subsiste un déficit comparé à une population saine. Nous avons pris connaissance de l'importance des afférences plantaires dans le maintien de l'équilibre. Nous suggérons que ce déficit d'équilibre pourrait être lié à la présence d'une altération des afférences podales du pied opéré, causée par l'intervention. L'objectif de cette étude est de comparer la sensibilité superficielle plantaire côté opéré et côté sain suite à la pose d'une PTG.

Matériel et méthode : Nous avons mis en place un protocole d'évaluation de la sensibilité au tact léger (monofilaments Semmes-Weinstein) et de la sensibilité discriminative (tests de Weber et Dellon) de la voûte plantaire, comparative au côté sain. Parmi des sujets porteurs d'une PTG bénéficiant d'une rééducation au Centre de Réadaptation Fonctionnelle de Quingey, nous avons sélectionné une population de 10 patients âgés en moyenne de 76.8 ans (± 7.6) composée de 7 femmes.

Résultats : Une différence significative ($p < 0.05$) entre pied sain et pied opéré, en faveur d'une meilleure sensibilité côté sain, est mesurée, à la pulpe de l'hallux aux monofilaments de Semmes-Weinstein, aux pulpes de l'hallux et du quintus au test de Weber, à l'arche médiale et au talon au test de Dellon.

Discussion : Nous avons pu faire le lien entre les mesures obtenues par certains patients et des éléments individuels tels que la déformation pré-opératoire (varus ou valgus), l'hallux valgus, la présence de callosités, l'activité physique etc. La plupart des hypothèses proposées pour expliquer cette différence de sensibilité entre le pied sain et le pied opéré ne sont pas en lien direct avec l'intervention, elles sont plutôt en relation avec la période pré-opératoire, douloureuse, du genou arthrosique et ses conséquences.

Conclusion : Cette étude nous a démontré une différence de sensibilité entre le pied sain et le pied opéré. Dans le futur, il serait intéressant de chercher si cela a un impact réel sur l'équilibre voire sur le risque de chute et si la rééducation de la sensibilité plantaire a sa place dans la prise en charge rééducative post-PTG.

Mots-clés : prothèse de genou, sensibilité plantaire, monofilaments, test de Weber, test de Dellon.

Keywords : knee replacement, plantar sensation, monofilaments, TPD, mTPD.

GLOSSAIRE

AM : arche médiale du pied

C.R.F. : Centre de réadaptation fonctionnelle

FA : Fast Adaptation, adaptation rapide en français

IC_{95%} : intervalle de confiance

MSW : monofilament(s) de Semmes et Weinstein

mTPD : moving Two-Point-Discrimination

P1 : pulpe de l'hallux

P5 : pulpe du quintus

PTG : prothèse totale de genou

SA : Slow Adaptation, adaptation lente en français

TPD : Two-Point-Discrimination

1. INTRODUCTION

Plus de 80 000 prothèses totales de genou (PTG) étaient posées en France en 2008 (1), la population concernée est âgée en moyenne de 71,5 ans et est composée à 63.5% des femmes. C'est donc un motif de rééducation des plus courants, quel que soit notre pratique, libérale ou en centre (où 51.1% des patients PTG sont pris en charge) (2).

Sa rééducation est établie, les principaux moyens et objectifs sont la mobilisation précoce, le réveil musculaire, le verrouillage actif, la marche sécurisée en phase aigüe et l'amélioration de la flexion, le renforcement musculaire, l'optimisation proprioceptive, et la stabilisation fonctionnelle en phase subaigüe (2).

Cette prise en charge intéresse le plus souvent la personne âgée, l'un des buts principaux de rééducation est la récupération de l'autonomie et d'un équilibre satisfaisant, primordial dans le cadre de la prévention des chutes. Ceux-ci ont pu être altérés depuis une certaine période, la douleur causée par la gonarthrose, ayant un plus ou moins lourd impact sur les capacités fonctionnelles du sujet.

Le travail de l'équilibre est abordé au cours d'exercices de rééducation proprioceptive visant à réintégrer le genou dans les schémas de rééquilibration. Mais la proprioception n'est qu'un des systèmes permettant le contrôle postural lors de la station debout statique ou dynamique. L'équilibre est assuré par l'appareil vestibulaire, le système visuel et la somesthésie (articulation, muscle, tendon, peau) de la cheville et de la voûte plantaire, essentiellement (3–5). Suite à une intervention chirurgicale, type arthroplastie, chaque tissu est maltraité, certains plus que d'autres selon les voies d'abord. Même si les chirurgies se veulent de moins en moins traumatisantes, notamment depuis l'apparition des voies mini-invasives, des événements iatrogènes persistent. Et les études nous montrent que l'altération de l'équilibre et le risque de chutes présents avant l'opération du fait de l'arthrose, de la douleur et de la réduction des capacités fonctionnelles qu'elle occasionne, subsiste après l'intervention, alors que la douleur et la force des extenseurs du genou tendent à s'améliorer dans les premiers mois suivant l'intervention. Cette amélioration est moins nette concernant la proprioception (6–11). Une étude de Bascuas et al. démontre une amélioration de l'équilibre après pose de PTG

seulement sur plan en mousse, tandis que sur plan dur aucune différence significative n'est obtenue, que ce soit yeux ouverts ou yeux fermés (11). L'équilibre sur plan en mousse permet de perturber la somesthésie dans la gestion de la posture, un manque d'amélioration de l'équilibre lorsque celle-ci est mise en jeu laisse croire qu'elle n'est pas améliorée par l'opération. La somesthésie comprend aussi bien la sensibilité cutanée plantaire que la proprioception musculaire et articulaire. La littérature est partagée concernant l'amélioration de la proprioception après l'intervention, mais il semble que les chirurgies récentes permettent une amélioration de celle-ci (10). Sachant que la proprioception tend à s'améliorer, mais que la somesthésie n'est pas modifiée avant et après l'opération, nous pouvons nous demander si la sensibilité plantaire n'est pas altérée suite à la pose d'une PTG. Une altération de la sensibilité de la voûte plantaire secondaire à l'intervention existe-t-elle ? Explique-t-elle la persistance de l'altération de l'équilibre?

En ce qui concerne la prothèse totale de genou, on retrouve des cas de paralysie du nerf fibulaire commun et quelques cas de paralysie du nerf tibial. Ils sont liés à la durée de l'intervention, à la pression exercée par le garrot, au type d'anesthésie utilisé etc. (12).

Mais sans aller jusqu'à la paralysie complète, existe-t-il des atteintes à minima non détectables par l'examen neurologique classique (13), en particulier au niveau du nerf tibial et ses rameaux cutanés, qui auraient pour conséquence des troubles de la sensibilité plantaire ?

La rééducation de la sensibilité aurait-elle ainsi sa place au sein de la rééducation post-chirurgicale de la prothèse de genou ?

C'est pourquoi nous cherchons à élucider au travers de cette étude, quels sont les effets sur la sensibilité au tact léger et la sensibilité discriminative au niveau de la voûte plantaire, d'une pose de prothèse de genou, chez le sujet âgé?

1. 1. Rappels

1. 1. 1. Rappels anatomo-physiologiques

1. 1. 1. 1. Système nerveux et sensibilité

Les voies de la sensibilité comprennent la voie extra-lemniscale responsable de la sensibilité thermo-algésique et du tact grossier, composée de fibres amyélinisées (C) et de fibres myélinisées de petit calibre ($A\delta$) et la voie lemniscale qui correspond aux sensibilités épicrotique, proprioceptive et pallesthésique, constituée de fibres myélinisées de gros calibre ($A\beta$) (14,15). C'est la voie qui nous intéresse dans le cadre de cette étude.

La voie lemniscale, voie de la sensibilité générale, prend source dans le cortex cérébral, en arrière de la scissure de Rolando dans le cortex pariétal, il y existe une topographie de chaque partie du corps qui correspond à la somatotopie sensitive illustrée par l'Homunculus de Penfield. Les fibres sensibles se dirigent ensuite vers le neurone sensitif du 3^e ordre dans le noyau postérolatéral du thalamus. Elles descendent et décussent dans le bulbe rachidien, via le lemnisque médian, correspondant à l'axone du neurone de 2^e ordre ou deutoneurone. Les noyaux gracile et cunéiforme, où se trouvent le corps du deutoneurone, prennent alors le relai avec l'axone de 1^{er} ordre qui chemine dans le cordon postérieur de la moelle épinière jusqu'au ganglion rachidien où se trouve le neurone de 1^{er} ordre, le protoneurone, relié aux différents récepteurs cutanés par ses dendrites (14,15) (**Ann. I**).

1. 1. 1. 2. Pied

“Parce que l'homme déroule sa vie sur la prise terrestre dans une position érigée, en raison du champ de gravité et des lois de la mécanique, son pied est astreint à être l'organe de l'équilibre. Ses caractéristiques anatomiques et physiologiques montrent bien que sa structure et sa fonction sont remarquablement adaptées à ce rôle. Il n'est pas surprenant que le sens commun nous incite à conserver sur terre le premier de nos serviteurs, dont l'humilité peut par instants faire oublier l'intelligence et la fidélité. Grâce à lui nous pouvons en effet nous servir du répertoire illimité de nos postures et de la variété infinie de nos mouvements.” M. Bessou (16).

Le pied correspond à l'interface du corps avec le sol, il est la base du « pendule inversé », un concept utilisé dans l'étude du contrôle postural. Il est composé de nombreuses articulations complexes, mettant en lien entre eux les os du tarse avec ceux du métatarse (17). La voûte plantaire est l'équivalent au pied, de la paume à la main, cependant la station debout nécessite la meilleure transmission possible du poids du corps vers le sol, nécessaire à la marche, la course et le saut, au dépend de la capacité de grimper aux arbres, restée intacte chez nos cousins les singes. Grâce à l'évolution des courbures et de son élasticité, la voûte plantaire peut transmettre au sol les efforts et les contraintes dûs à la pesanteur dans les meilleures conditions mécaniques. Elle joue le rôle d'un amortisseur indispensable à la souplesse de la démarche (17).

La sole plantaire a la capacité d'informer le cerveau de la situation du point d'application de la force de pression au niveau de la surface d'appui. Plusieurs nerfs innervent et se partagent cette zone (**Ann. II**). Les récepteurs présents dans la peau, les articulations et les muscles (16) génèrent des informations essentielles au contrôle postural et complémentaires des données visuelles, vestibulaires et proprioceptives concernant la position de la tête par rapport au corps. La peau de la sole plantaire contient une variété de mécanorécepteurs diverses séparée en deux grandes catégories de barorécepteurs cutanés suivant la nature de leur réponse à une indentation maintenue de la peau :

- les récepteurs à adaptation lente (SA), dits phasiques, qui fournissent une décharge soutenue d'influx nerveux.
- les récepteurs à adaptation rapide (FA), dits toniques, qui émettent seulement un train d'influx au début et à la fin du stimulus (18,19).

Chaque catégorie est divisée en deux types selon le diamètre du champ récepteur :

- **Type I** : petits champs récepteurs superficiels bien délimités, ils fournissent des renseignements sur la localisation précise et les déformations cutanées créées par l'appui.
- **Type II** : grands champs récepteurs profonds aux limites floues. Ils ont une densité uniforme sur toute l'étendue de la plante des pieds. Ils ne fournissent pas d'information de discrimination spatiale mais sont sensibles aux oscillations mécaniques de la peau, permettant ainsi d'évaluer les forces de cisaillement entre la peau et le sol et d'apprécier des

déformations induites par les mouvements articulaires, ils participent donc aux sensations proprioceptives (18,19).

- FA I : corpuscules de Meissner :

Ils se trouvent à la surface de la peau (jonction derme-épiderme) amarrés à la lame basale, surtout présents au niveau des zones glabres (doigts, lèvres etc.). Ils sont constitués d'un empilement horizontal de cellules de Schwann entre lesquelles l'axone passe en spirale ramifiée. Ils détectent les dépressions minimales de la peau, les mouvements légers superficiels et les vibrations lentes (10-50Hz) (**Ann. II**) (18,19).

- FA II : corpuscules de Pacini :

Présents dans le derme profond et l'hypoderme, ils possèdent un champ de réception large, de limites floues et de taille variable selon leur siège. Ils sont composés de grandes capsules formées de lamelles concentriques avec une terminaison nerveuse au centre. Ils sont stimulés par de fortes pressions et des variations rapides d'intensité (100-300 Hz) et de déformation (**Ann. II**) (18,19).

- SA I : disques de Merkel :

Les corpuscules de Merkel sont localisés dans l'épiderme de la peau glabre, juste au-dessus des papilles dermiques. Les corpuscules de Merkel sont constitués de terminaisons nerveuses aplaties en disques, les disques de Merkel, étroitement apposés à la membrane basale de petites cellules de Merkel. Un groupe de 5-10 cellules est innervé par une fibre myélinisée, qui se ramifie pour donner autant de disques que de cellules. La densité de disques de Merkel d'une zone donnée a un lien direct avec sa sensibilité tactile. Ils sont abondants dans le tissu cutané plantaire (**Ann. II**) (18-21).

- SA II : corpuscules de Ruffini :

Ils sont localisés dans le derme moyen, et sont orientés parallèlement à la peau. Ce sont des structures encapsulées en forme de fuseau dont la capsule est innervée par une fibre myélinisée unique. Ils ressemblent aux organes tendineux de Golgi structurellement et fonctionnellement, ils répondent aux stimuli d'étirement de la peau. On les retrouve surtout dans la plante du pied (**Ann. II**) (18,19).

1. 1. 1. 3. Genou

Le genou est l'articulation intermédiaire du membre inférieur. Elle dispose de deux degrés de liberté, dont la flexion-extension qui permet de raccourcir et d'allonger la taille du membre inférieur (17). Elle est composée de 3 articulations : 2 articulations tibio-fémorales médiale et latérale, de type bicondylaires, qui mettent en lien les condyles fémoraux (épiphyse distale du fémur) et les plateaux tibiaux (épiphyse proximale du tibia) ; 1 articulation fémoro-patellaire, de type ginglyme, comprenant la face postérieure de la patella et la trochlée fémorale (22). C'est une articulation horizontale, portante, qui travaille essentiellement en compression (17).

1. 1. 2. Historique des différents outils d'évaluation de la sensibilité utilisés

1. 1. 2. 1. Monofilaments de Semmes-Weinstein

Sidney Weinstein s'interroge sur la sensibilité somatique après avoir subi une brûlure lors de la 2nde Guerre Mondiale. Plus tard, durant son cursus il est amené, auprès d'éminents neurologues, à réaliser des tests de sensibilité auprès d'une population de vétérans blessés par balle. Il parvient, grâce à ses outils, à déceler des atteintes neurologiques qui passaient jusqu'alors inaperçues lors d'un examen neurologique classique (23). C'est à cette période qu'il rencontre Joséphine Semmes, neurophysiologiste reconnue travaillant au National Institute of Health, qui publia les premières études où figurent les fameux monofilaments, notamment un livre "Somatosensory Changes After Penetrating Brain Wounds In Man"(24).

Son objectif dans l'élaboration des monofilaments de Semmes-Weinstein était de corriger les inconvénients du crin de cheval de Von Frey. Le concept du filament a été inventé au XIX^{ème} siècle par Von Frey, qui utilisait des crins de différentes épaisseurs permettant d'exercer différentes pressions (23). S. Weinstein souhaite développer un instrument non pas analogue mais une série d'outils digitaux pré-calibrés, chacun associé à une pression spécifique exprimée en log (en équivalents log du nombre de dixièmes de milligrammes nécessaires pour plier le filament) (23). Par exemple, le monofilament 3.61 correspond à une force appliquée équivalente à 0.408 g ou 4 080 dixièmes de mg, soit $\log 4080 = 3.61$ et $10^{3.61} = 4080$. Les monofilaments Semmes-Weinstein sont des filaments de nylon de différents diamètres

permettant de tester le seuil de perception à la pression. Ils renseignent sur la sensibilité des mécanorécepteurs cutanés à adaptation lente et permettent d'évaluer la capacité du sujet à discriminer une pression. Les MSW testent le seuil de perception, à la pression statique, des cellules de Merkel (récepteurs à adaptation lente de type I, à champs de réception limités, sensibles à la pression= SAI) (16,17,20). Certains auteurs affirment qu'ils permettraient d'évaluer les cellules de Merkel et les corpuscules de Meissner (28).

Les monofilaments de Semmes-Weinstein permettent d'évaluer le seuil de détection des barorécepteurs cutanés et la sensibilité au tact léger, c'est-à-dire la force minimum à appliquer sur le revêtement cutané pour les stimuler. Le test est réalisable partout sur le corps (29) même si la zone pour laquelle il est utilisé préférentiellement est la face dorsale de la main, dans le cadre d'atteinte nerveuse périphérique. Il existe plusieurs kits : un kit de cinq monofilaments pour mesurer la sensibilité cutanée de la main, un kit de six monofilaments pour le pied mais le plus utilisé reste le kit complet de vingt monofilaments (**Ann. III**) (26).

Ce test est adapté à l'évaluation de la perte de sensibilité chez la personne âgée (27). Leur utilisation fait consensus dans le cadre de la prévention des ulcères du pied diabétique, par l'International Work Group on the Diabetic Foot (30).

1. 1. 2. 2. Test de Weber ou Two-Point Discrimination test

Il est réalisé à l'aide du compas de Weber, ou pied à coulisse, (**Ann. III**) et explore la densité des récepteurs des cellules de Merkel (16,17). Le test de discrimination de deux points statiques, ou test de Weber, a été mis au point en 1835 par Ernst Heinrich Weber. Il permet de déterminer le seuil de discrimination, c'est-à-dire la distance minimale entre deux pointes appliquées simultanément à pressions égales, pour laquelle le sujet est capable de distinguer deux points statiques (26,31). En dessous de cette distance minimale, le sujet ne parvient pas à discriminer les deux pointes, il n'en ressent qu'une, car les deux pointes se trouvent dans le champ récepteur d'une seule et même cellule de Merkel, d'où cette sensation de n'en ressentir qu'un. Au contraire, lorsque le patient ressent les deux pointes c'est qu'elles sont assez éloignées pour être ressenties par deux champs récepteurs de deux cellules de Merkel

différentes. Plus le seuil de discrimination est bas plus les champs récepteurs sont rapprochés et plus la densité en cellules de Merkel est importante (16,17).

Les tests somatosensoriels sont classés en fonction du type de sensation que le corps ressent comme la douleur, la température et la sensation tactile. Le Two Point Discrimination (TPD) test a longtemps été utilisé comme mesure de la résolution spatiale tactile pour évaluer les résultats des lésions nerveuses périphériques et de la récupération. Il s'agit de la seule mesure quantifiable utilisée dans la classification du British Medical Research Council (MRC). Le TPD test s'intéresse à la densité des champs réceptifs superposés sur la surface du corps. Lors d'un examen neurologique, on utilise fréquemment un test de discrimination à deux points, en particulier avec des lésions à la main. Il est adapté à l'évaluation des lésions nerveuses périphériques de la main avec des normes connues et reconnues. Dans une étude récente, pour mesurer la discrimination à deux points, un aesthésiomètre a été utilisé, c'est le dispositif pour mesurer la sensibilité tactile de la peau auquel nous avons eu recours (32). Il se compose d'une petite règle avec deux bouts mobiles recouverts de vinyle. Le revêtement de la solution de vinyle le protège de la température excessive et aide à minimiser l'impact de la température sur la perception du contact. Il est également possible d'utiliser des octogones en plastique munis à chaque côté de deux pointes espacées de distances préétablies, mais ils ne sont pas adaptés aux grandes distances mesurées au niveau du pied. Les seuils de discrimination des différentes parties du corps varient selon la taille, et donc la densité des récepteurs (31).

Les doigts et la paume de la main sont considérés comme les parties les plus sensibles, les deux points y sont détectés même s'ils sont peu écartés. Contrairement au dos, la région où la discrimination spatiale est la plus élevée, correspondant à ce que l'on retrouve dans la représentation de l'Homunculus de Penfield (23,20).

1. 1. 2. 3. Test de Dellon ou moving-Two-Point-Discrimination test

Ce test a été mis au point, en 1978, par le chirurgien de la main Arnold Lee Dellon, il teste les corpuscules de Meissner qui ont tendance à récupérer plus vite que les disques de Merkel, il permet donc une évaluation plus précoce de la récupération sensitive, suite à une lésion nerveuse, comparé au TPD test. Sa réalisation est similaire au TPD test, sauf que cette

fois, les deux pointes seront mobiles. Nous chercherons toujours la plus petite distance entre les pointes que le sujet est capable de discriminer. Cet outil ne dispose que de très peu de littérature à notre connaissance (26,33).

1. 1. 3. Traitement chirurgical de la gonarthrose

1. 1. 3. 1. Epidémiologie et physiopathologie de la gonarthrose

Selon Munzinger et al, le genou est l'articulation la plus communément atteinte par l'arthrose (34), et la 3^e avec une incidence de 30% au sein de la population française de 60 à 75 ans après les segments vertébraux et les articulations des doigts selon la Société Française de Rhumatologie (35). Le genou est l'articulation portante la plus communément atteinte d'arthrose avec une prévalence estimée à 250 millions de cas dans le monde (36). Avoir une gonarthrose unilatérale augmente les chances de développer une gonarthrose controlatérale (37,38). Lors d'une étude de cohorte, réalisée sur une population de 58 femmes âgées de 45 à 64 ans porteuses d'une arthrose unilatérale du genou KL 2 et + selon la classification de Kellgren et Lawrence (**Ann. IV**) diagnostiquée radiologiquement. 34% présentait une arthrose controlatérale dans les 2 ans (39). Sur une cohorte de 11 ans, sur 13 personnes avec arthrose unilatérale KL 2 et plus, 12 développent une arthrose controlatérale (40).

« La gonarthrose primitive est une maladie micro-traumatique » (41) qui débute par une fracture de stress du collagène de type II et une hyperhydratation du cartilage. Celui-ci se fissure, prend un aspect fibrillaire et les chondrocytes prolifèrent. La réparation fait appel aux ostéophytes qui remplacent les surfaces d'appui défailantes. Des corps étrangers résultant de la fragmentation des structures ostéochondrales sont libérés dans l'articulation. Le cercle vicieux de l'inflammation, associant synovite et hydarthrose, s'installe. Le cartilage se détruit d'autant plus lors des poussées inflammatoires et hydarthrosiales (41). Le rapport anabolisme-catabolisme est perturbé en faveur du catabolisme entraînant une libération d'enzymes aggravant la dégradation des protéoglycanes et du collagène. Le cartilage ne possède qu'une très faible capacité de renouvellement, 400 ans pour le collagène, 3 ans pour la substance

fondamentale (42). La gonarthrose secondaire est favorisée par les troubles statiques tels que le genu varum avec la gonarthrose interne ou le genu valgum pour la gonarthrose externe.

1. 1. 3. 2. Arthroplastie du genou

Avant que l'arthroplastie n'ait été créée, le débridement, l'ostéotomie et l'arthrodèse représentaient les bases du traitement chirurgical. En l'absence de prise en charge chirurgicale efficace, fonctionnellement parlant, la gonarthrose conduisait à un handicap important chez la majorité des patients atteints. L'histoire de l'arthroplastie a débuté il y a plus d'un siècle, les premières chirurgies de prothèse de genou sont réalisées par Gluck (34). Depuis elle a connu de nombreuses améliorations permettant ainsi une survie de la prothèse à 10 ans dans 94 à 95% des cas (43,44).

L'arthroplastie totale de genou est donc considérée comme une intervention fiable et reproductible, mais elle n'est pas exempte de complications. En dehors des complications périopératoires immédiates, essentiellement cutanées ou thrombo-emboliques, les complications directement liées à l'arthroplastie sont principalement : **le descellement aseptique** dû à une malposition initiale et un IMC > 30 kg/m² ; **l'usure** consécutive à un mauvais équilibre ligamentaire, qui entraîne la libération de particules de polyéthylène dans la capsule articulaire provoquant des destructions osseuses localisées et progressives (ostéolyses). Elle est d'autant plus favorisée par la présence d'une déformation préopératoire difficile à corriger. En moyenne, une repose est alors nécessaire dans les 4 ans ; **la raideur articulaire**, définie comme une amplitude maximale de flexion < 100°, après plus de 6 mois d'évolution. Elle peut faire l'objet d'une mobilisation sous anesthésie ou d'une arthrolyse voire d'une révision en dernier recours ; **Les douleurs persistantes** (44).

L'indication de la PTG existe dès lors que les traitements conservateurs ne sont plus efficaces. Pour autant, la douleur est la principale indication, elle constitue un facteur clé. Les raideurs articulaires, les laxités ligamentaires, les déformations du membre inférieur, ou même une image radiologique d'arthrose avancée, sans douleur, ne débouchent que rarement sur une prise en charge chirurgicale (44).

2. STRATEGIE DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Pour débiter notre recherche bibliographique, nous nous sommes procurés des livres abordant les connaissances anatomiques et fonctionnelles de la peau, du pied, du genou et de la sensibilité à la Bibliothèque Universitaire de Médecine de Nancy et du Centre d'information et de documentation en Médecine Physique et de Réadaptation réeDOC. Elle a ensuite été menée au travers de plusieurs bases de données francophones et anglophones, Medline, Sciencedirect, PEDro, Google Scholar, Kinédoc et Researchgate.

Les mots clé retenus étaient, « **pied** », « **sensibilité** », « **prothèse de genou** », « **monofilaments** », « **test de Weber** » et « **test de Dellon** », qui par la suite, ont été traduits en anglais par « **foot** », « **sensitivity** » ou « **sensation** », « **knee replacement** » ou « **total knee arthroplasty** », « **monofilaments** », « **two-point discrimination** » ou « **TPD** » et « **moving two-point discrimination** » ou « **mTPD** ». Ces mots clés étaient utilisés séparés ou associés selon les articles recherchés. Nous avons également mis à profit les références retrouvées dans certains des articles que nous avons pu lire. Le choix des articles était réalisé après lecture du titre, du résumé et de la discussion.

3. METHODE

3. 1. Population

L'étude fut réalisée sur une population de 10 volontaires (7 femmes et 3 hommes), ayant bénéficié d'une arthroplastie totale de genou par voie d'abord antéro médiane, rééduqués au Centre de réadaptation fonctionnelle de Quingey. La population âgée de 76.8 ans en moyenne (± 7.6), de 60 à 85 ans. Les tests ont été réalisés en moyenne à J+22 (± 15).

Critères d'inclusion : **prothèse tri-compartmentale** de genou rééduquée au C.R.F. de Quingey ; **2 PTG**, si la première date au moins de 2 ans.

Critères d'exclusion : prothèse **uni-compartmentale** ou **bi-compartmentale** du genou ; **prothèse totale de hanche** ; **diabète** et toute autre pathologie du système nerveux périphérique ou central pouvant altérer la sensibilité superficielle ; **troubles cognitifs**

importants ne permettant pas une adhésion et une compréhension complète du protocole ; présence d'un œdème du membre inférieur avec godet positif ; **traumatisme fracturaire**, même ancien, au niveau des membres inférieurs.

3. 2. Monofilaments de Semmes-Weinstein

Nous utilisons un kit de 20 monofilaments Jamar®. Nous commençons par expliquer la procédure en appliquant un MSW de gros diamètre puis un de plus petit diamètre au niveau de l'index d'une des mains du sujet, afin qu'il puisse mieux se rendre compte du type de stimulation qui sera appliqué sur ses voûtes plantaires et de l'assurer du caractère non douloureux de celle-ci. Nous demandons au sujet d'exprimer par un « Oui » tout stimulus ressenti ainsi que d'en indiquer la localisation approximative pour diminuer la possibilité de faux positifs (45). Nous veillons à appliquer le MSW perpendiculairement à la zone testée de manière progressive, afin d'éviter tout rebond (46). L'appui est alors maintenu de 1 à 1.5s (45,47). Nous testons le pied côté sain en premier, puisque nous partons de l'hypothèse que la sensibilité du côté opéré est diminuée, ainsi la compréhension de l'évaluation est simplifiée. Nous suivons l'algorithme 4-2-1 décrit par Dyck en 1993 (**Ann. V**) (48), qui démontre une fiabilité intra-opérateur au niveau de la voûte plantaire jugée bonne chez sujet jeune, sain ou atteint d'instabilité de cheville (49). Son utilisation apporte une meilleure précision que la méthode des limites (séries ascendantes ou descendantes) et ses résultats se rapprochent beaucoup de ceux obtenus par la technique de stimulus constant (on choisit un nombre défini de MSW de différentes intensités et chacun doit être appliqué 20 fois dans un ordre aléatoire) considéré par Berquin et al comme le « gold standard » malgré son aspect très chronophage (50). Le rythme des stimulations n'est pas constant afin de limiter au maximum le risque de faux positifs (51), contrairement à Strzalkowski et al, qui annoncent chaque stimulus par un décompte (52).

3. 3. Test de Weber ou Two-Point Discrimination test

Nous utilisons un aesthésiomètre BASELINE®, considéré, comme le plus adapté pour l'évaluation du pied, qui exige une amplitude de mesure plus importante que ce qui est possible à quantifier avec l'octogone (47,53). A l'instar de la précédente phase d'évaluation nous

expliquons la procédure au patient, yeux ouverts, en lui présentant le compas de Weber sur son bras comme préconisé par le Département des Sciences de la Santé de la Washington State University (WSU) (54). Pendant le test, nous lui prions de fermer ses yeux et d'informer régulièrement si un ou deux points ont été ressentis. La plus petite distance pour laquelle les deux pointes sont ressenties, est corrélée avec la densité en récepteurs. Une plus petite distance signifie une plus grande densité de récepteurs (31). Il est important d'appliquer les 2 pointes perpendiculairement à la peau de manière simultanée afin d'éviter les erreurs d'appréciation du sujet, il n'y a pas de consensus, à notre connaissance, à propos de la pression à appliquer (55,56), c'est pourquoi nous avons décidé de nous référer au blanchiment de la peau.

La fiabilité du test est bonne au niveau de la voûte plantaire sur une population d'adultes jeunes testés par 28 physiothérapeutes, sans expérience préalable avec le TPD (47). La discrimination de deux points a été déterminée avec la méthode des limites. Cette méthode consiste à présenter au sujet en alternance une série ascendante et 2 descendantes de stimuli (57). Les séries descendantes commencent toujours avec un écart important entre les deux pointes (27). La série ascendante commence avec un niveau de 2mm inférieur à celui où la précédente série s'est achevée. On considère qu'il faut 3/5 réponses positives pour passer au niveau inférieur (55) par incrément de 2mm lors de la première phase descendante puis par incrément de 1mm pour le phase ascendante et la seconde phase descendante. Nous réalisons également des stimulations avec une seule pointe afin de déceler les faux positifs (57).

3. 4. Test de Dellon ou moving-Two-Point-Discrimination test

Nous utilisons le même protocole que pour le Test de Weber car nous ne disposons que de très peu de littérature expliquant le procédé, la seule différence étant que les deux pointes sont déplacées de manière perpendiculaire à l'axe qu'elles forment, du proximal au distal, sur une distance d'environ 2cm (57,58). La pression sera exercée jusqu'au blanchiment de la peau (59,60). Nous ne réalisons ce test que sur le talon et l'arche médiale, la pulpe des orteils présente une superficie trop petite pour réaliser une évaluation fiable et reproductible.

3. 5. Protocole

Dans un premier temps, nous sélectionnons un patient en fonction de ses antécédents figurant dans le dossier médical, et de leur adéquation avec les critères d'inclusion ou d'exclusion. Ensuite lors d'un bref entretien, nous étions amené à nous présenter, à discuter de l'étude. Nous l'informions des objectifs, de la durée approximative de la session d'évaluation (30 minutes) et de l'utilisation anonyme des données recueillies pour l'élaboration d'un travail de fin d'étude. Suite à cela, le patient se voyait remettre un formulaire de consentement libre et éclairé (**Ann. VI**), à rendre le jour de l'évaluation, dans un délai minimum de 48h. Après concertation avec les différents professionnels concernés (ergothérapeutes, professeurs APA, masseur-kinésithérapeutes, infirmières, médecin) nous nous accordions sur un créneau, afin que le patient ait un après-midi libre sans examen ou acte d'un autre professionnel. Le test est à chaque fois réalisé en fin de journée, à distance de la séance de kinésithérapie (qui a eu lieu le matin). Il est nécessaire de réaliser l'évaluation à heure fixe de la journée car la sensibilité cutanée plantaire fluctue du matin au soir (61). Le patient est brancardé par l'examineur en fauteuil roulant de sa chambre à une salle de rééducation calme, sans distraction (portable éteint). Le sujet réalise le transfert, avec ou sans l'aide de l'examineur, jusqu'à la table utilisée pour le test. Il est installé en décubitus légèrement surélevé par un coussin triangulaire, les talons en dehors de la table afin de ne pas perturber la sensibilité plantaire lors des tests. La table est alors surélevée pour que la surface examinée se trouve à hauteur du regard de l'examineur assis au pied du sujet. Au cours d'un interrogatoire succinct, nous nous assurons du confort du patient et de l'absence de critères d'exclusion dans les antécédents (préalablement recueillis dans son dossier médical). Nous procédons ensuite à l'ablation du chaussage, des dispositifs de contention et veillons à préserver les MI de toute compression, notamment par les vêtements, qui pourraient modifier la vascularisation localement (effet garrot) et donc biaiser les résultats du test.

Nous réalisons un effleurement symétrique des plantes de pied et demandons au patient s'il ressent une différence d'un côté à l'autre. Suite à un rapide examen des callosités, afin d'apprécier leur répartition (symétrique ou non), il est demandé au patient d'allonger la tête et de fermer les yeux.

Il n'y a pas de consensus, ni dans le nombre, ni dans la localisation des zones à tester (45). La densité des mécanorécepteurs est maximale au niveau de la pulpe des orteils (16), les meilleures sensibilités sont retrouvées au niveau de l'arche médiale et de la pulpe des orteils tandis qu'elles sont moins bonnes au niveau du talon (51). Nous décidons de ne pas tester la première tête des métatarsiens en raison de la forte prévalence de lésions hyperkératiques au niveau de cette zone porteuse (62), chez le sujet âgé (63). Ainsi nous choisissons de tester 4 zones : la pulpe de l'hallux (P1), la pulpe du quintus (P5), l'arche médiale (AM) et le talon, qui correspondent chacune à un territoire nerveux sensitif différent (**Fig. 1** et **Fig.2**). Ce choix permettrait d'identifier le ou les nerfs concernés par une atteinte nerveuse partielle. Elle fait partie des hypothèses, qui permettrait d'expliquer la possible diminution de la sensibilité cutanée plantaire du côté opéré. Chaque localisation fait partie des 3 zones définies par Wells et al, pour leurs différents seuils de sensibilité à la pression (64).

Chaque donnée est répertoriée dans un premier temps sur une feuille de test (**Ann. VII**), en grammes pour celles obtenues par MSW et en centimètres pour celles du TPD et du mTPD. Par la suite, elles sont enregistrées de manière anonyme sur un recueil de données informatisé.

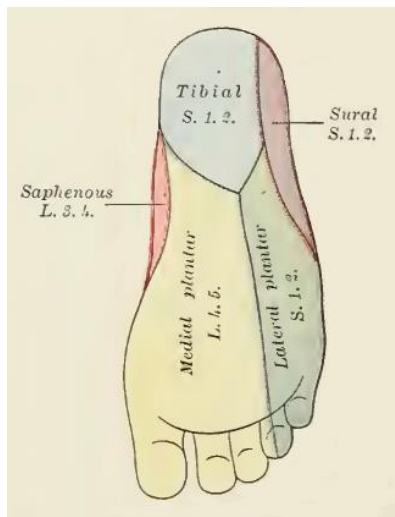


Figure 1 : Territoires sensitifs de la voûte plantaire issus de Anatomy of the Human Body d'Henry Gray (49). « Saphenous » pour nerf saphène, « Medial plantar » pour nerf plantaire médial, « Lateral plantar » pour nerf plantaire latéral.

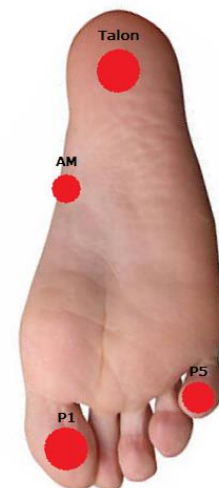


Figure 2 : Schématisation des différents sites de stimulations. Pulpe de l'hallux (P1) ; pulpe du quintus (P5) ; arche médiale (AM) ; talon.

3. 6. Méthode statistique

Afin de tester notre hypothèse selon laquelle une différence de sensibilité superficielle existerait entre les valeurs du côté opéré et du côté sain, nous utilisons le test des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés. La différence entre les deux séries de données, côté opéré et côté sain, peut être très significative ($p < 0.01$), significative ($p < 0.05$), une tendance ($p < 0.1$). Si $p \geq 0.1$, la différence est non significative, l'hypothèse est donc rejetée.

Nous avons utilisé l'intervalle de confiance $IC_{95\%}$, afin de définir l'intervalle autour de la moyenne au sein de laquelle se trouve 95% des valeurs d'une série de données.

Nous avons cherché également des corrélations, à l'aide du test de Pearson, entre les données obtenues à l'aide des différents outils. Mais aussi leur possible lien avec d'autres informations recueillies dans le dossier médical et le compte-rendu opératoire : âge, sexe, poids, taille, IMC, la durée d'intervention et la date de l'opération, côté opéré, nombre de PTG, présence d'un valgus ou varus pré-opératoire corrigé chirurgicalement.

4. RESULTATS

Nous traiterons les données en triant celles du pied sain, du pied opéré et la différence pied opéré-pied sain. Une différence pied opéré-pied sain positive correspond à un seuil de perception plus élevé au niveau du pied opéré, concernant les données observées au Monofilament Semmes Weinstein (MSW). A l'instar des valeurs recueillies via les tests Two-Point Discrimination (TPD) et moving Two-Point Discrimination (mTPD), plus elles sont élevées, moins la sensibilité est fine. Une différence pied opéré-pied sain positive illustre une moins bonne sensibilité côté opéré.

4. 1. Monofilaments de Semmes-Weinstein

Nous trouvons une différence significative des seuils perçus d'un côté à l'autre, seulement au niveau de la pulpe de l'hallux (P1) ($p < 0.05$), les autres sites ne présentent pas de différence significative (**Tab. I**). Ainsi, 7 individus présentent une sensibilité diminuée côté

opéré pour P1 et 6 pour l'arche médiale (AM). 2 patients présentent une diminution au niveau de la pulpe du quintus (P5) et 3 au talon. Quel que soit le pied testé, le talon est la zone la moins sensible. Ensuite dans un ordre croissant de sensibilité, nous avons à P5 des seuils de perception encore bien supérieurs à ceux mesurés à P1 et à l'AM. P1 est la zone la plus sensible du pied sain, et l'AM, la plus sensible du pied opéré. La moyenne des mesures du talon démontre un seuil de perception 3 fois supérieur à la moyenne des autres sites (3.816 g ; 1.190 g) et 2 fois supérieur si l'on exclue la valeur extrême (2.574 g), au pied sain. Ce facteur s'élève à 9 pour le pied opéré si l'on prend en compte une valeur extrême (15.203 g ; 1.655 g), et retombe à 1.6, hors valeur extrême (**Tab. I** et **Ann. VIII**).

Tableau I : moyennes et intervalles de confiance des valeurs obtenues aux MSW

	Pied sain : \bar{X} (IC _{95%})	Pied opéré	Différence pied opéré-pied sain
Pulpe de l'hallux	0.765 (0.291 ; 1.239)	1.513 (0.575 ; 2.451)	0.748† (0.038 ; 1.458)
Pulpe du quintus	1.835 (0.698 ; 2.972)	2.169 (0.825 ; 3.514)	0.335 (-0.582 ; 1.252)
Arche médiale	0.971 (0.369 ; 1.573)	1.282 (0.487 ; 2.076)	0.311 (-0.261 ; 0.882)
Talon	3.816 (1.451 ; 6.182)	15.203 (5.780 ; 24.626)	11.387 (-10.531 ; 33.305)

† : $p < 0.05$

\bar{X} : moyenne

Aucun des patients ne présente de différence pied opéré-pied sain positive sur les 4 zones à la fois. 2 individus sur 3 zones à la fois et 6 individus ont une différence négative sur une zone sur 4 minimum. Nous étudions les moyennes des différences pied opéré-pied sain, toute localisation confondue pour chaque individu. Elles sont positives chez 7 sujets et négatives chez 2 sujets. Parmi les 7 sujets affichant des moyennes positives, 5 possèdent des moyennes supérieures à 0.500 g. Pour donner un ordre d'idée, c'est plus que la force nécessaire à plier un monofilament log 3.61, équivalent à 0.408 g appliqué. Les moyennes des 4 sites pour chaque individu, du côté sain, s'étendent de 0.639 g à 5.075 g et de 0.878 g à 32.925 g, côté opéré. Au niveau du talon, nous rencontrons beaucoup de différences nulles (**Fig. 3**).

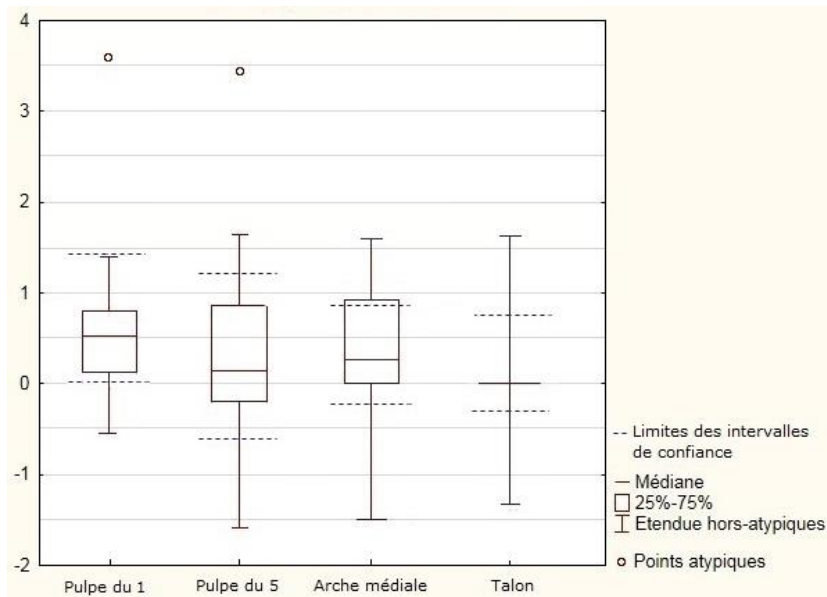


Figure 3 : boîtes à moustache des valeurs de différences pied opéré-pied sain, aux MSW

Nous avons pu observer des callosités marquées sur les voûtes plantaires de 4 patients, elles existaient chez 3 des 4 sujets présentant la plus grande différence pied opéré-pied sain et sur les 2 personnes qui avaient les plus hauts seuils de perception moyens côté opéré. Notre étude regroupait 5 patients avec 2 PTG, les 2 seuls patients dont la différence était en faveur d'une meilleure sensibilité au tact léger côté opéré portaient 2 PTG. 3 des 4 plus hauts seuils moyens mesurés côté sain avaient 2 PTG, les 3 sujets ayant les plus bas seuils côté opéré en sont également porteurs. Nous comptons également 4 personnes avec hallux valgus, les 2 plus hauts seuils mesurés à P1 côté opéré, ont un hallux valgus (**Ann. VIII**).

4. 2. Two-Point Discrimination

Nous observons une différence significative des résultats du TPD au niveau de P1 et P5 ($p > 0.05$) côté opéré, la différence n'est pas significative pour l'AM et le talon. Cependant, la moyenne des différences pied opéré-pied sain est positive (**Tab.2**). Le site présentant la plus mauvaise sensibilité discriminative est à nouveau le talon pour les 2 pieds. Côté sain, il est suivi de l'AM, P5 et P1. Du côté opéré, ces 3 sites montrent des valeurs moyennes presque égales, 2.21 cm pour P5, 2.22 cm pour l'AM et 2.23 cm pour P1. Si l'on se réfère aux intervalles de confiance, 95% des différences pied opéré-pied sain en P1 et P5, sont positives (**Fig. 4 et Tab.2**).

Tableau II : moyennes et intervalles de confiance des valeurs obtenues au TPD

	Pied sain : \bar{X} (IC _{95%})	Pied opéré	Différence pied opéré-pied sain
Pulpe de l'hallux	1.77 (0.673 ; 2.867)	2.23 (0.848 ; 3.612)	0.46† (0.213 ; 0.707)
Pulpe du quintus	1.94 (0.738 ; 3.142)	2.21 (0.840 ; 3.580)	0.27† (0.107 ; 0.433)
Arche médiale	2.03 (0.772 ; 3.288)	2.22 (0.844 ; 3.596)	0.19 (-0.088 ; 0.468)
Talon	2.10 (0.798 ; 3.402)	2.41 (0.916 ; 3.904)	0.31 (-0.024 ; 0.644)

† : $p < 0.05$ \bar{X} : moyenne

Une large majorité des valeurs pied opéré-pied sain est positive pour les pulpes, pour P1 et P2 ils sont respectivement 9 et 8 individus. Tandis que 6 sujets ont une différence positive pour les 2 autres zones (**Ann. VIII**).

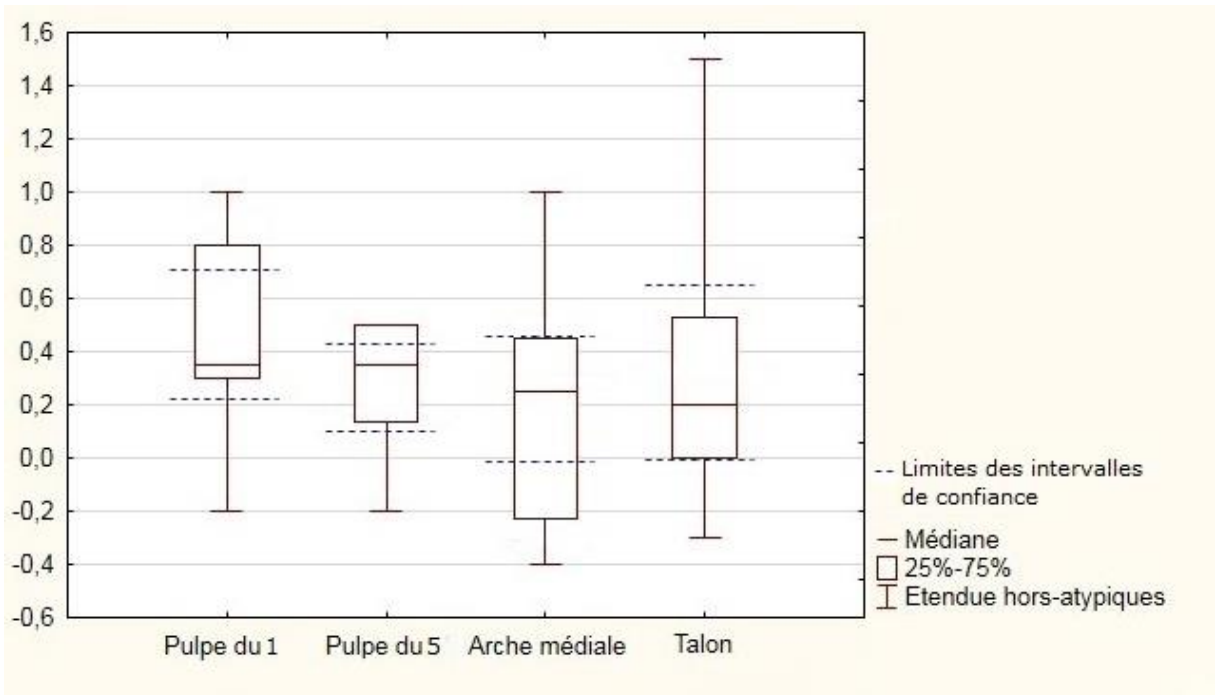


Figure 4 : boîtes à moustache des valeurs de différences pied opéré-pied sain, au TPD

7 des patients présentent des différences pied opéré-pied sain positives pour au moins 3 des 4 sites simultanément, 3 personnes des différences négatives pour au moins 2 sites en même temps. Les moyennes des 4 sites pour chaque individu s'étendent de 1.1 cm à 2.8 cm du côté

sain et de 1.8 cm à 3.1 cm côté opéré. De la même façon, la moyenne des différences n'est négative que pour 2 sujets, ce sont également les deux personnes les plus âgés. Les 2 patients ayant les plus mauvaises sensibilités discriminatives mesurées à P1, côté opéré, ont un hallux valgus. Au sein de notre population, 4 personnes avaient bénéficié d'une correction du genu varum et 4 autres du genu valgum, sur les 4 différences les plus fortes recensées à l'AM et au talon, 3 étaient obtenues par des patients avec un valgus pré-opératoire. Les deux plus fortes différences en P5 sont également détenues par des personnes avec un valgus (**Ann. VIII**).

4. 3. Moving Two-Point Discrimination

Les valeurs moyennes des 2 sites pour chaque individu s'étendent de 1.5 cm à 3.25 cm pour le côté sain, et de 1.85 cm à 3.35 cm côté opéré. Les valeurs moyennes des différences pied opéré-pied sain, toute zone confondue, calculées pour chaque individu, vont de -0.10 cm à 0.85 cm et sont positives pour 9 personnes (**Ann. VIII**). 8 patients ont une sensibilité améliorée au mTPD à l'AM, de même pour le talon, pour 7 sujets les valeurs sont positives pour l'AM et le talon simultanément.

Tableau III : moyennes et intervalles de confiance des valeurs obtenues au mTPD

	Pied sain : \bar{X} (IC _{95%})	Pied opéré	Différence pied opéré-pied sain
Arche médiale	2.10 (0.798 ; 3.402)	2.55 (0.969 ; 4.131)	0.45† (0.190 ; 0.710)
Talon	2.37 (0.901 ; 3.839)	2.71 (1.030 ; 4.390)	0.34† (0.110 ; 0.570)

† : $p < 0.05$

\bar{X} : moyenne

La différence entre les valeurs mesurées côté sain et côté opéré est significative, les moyennes des différences et leur encadrement calculé via l'IC_{95%} sont strictement positives pour les deux localisations (**Tab. III** et **Fig. 5**). Le talon présente les seuils les plus élevés mesurés (**Tab. III**).

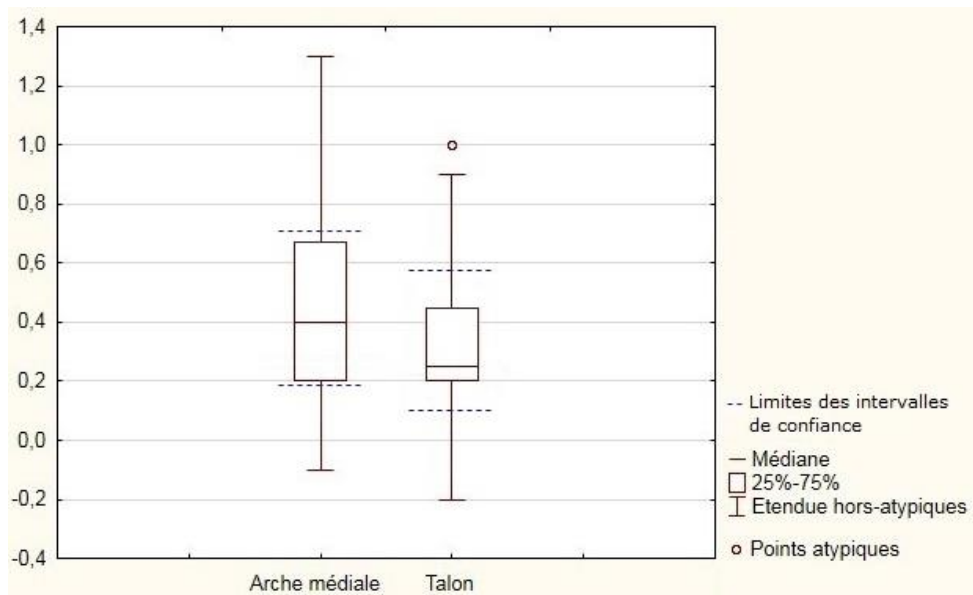


Figure 1 : répartition et signe des valeurs de différence pied opéré-pied sain, au mTPD

Pour 4 des individus démontrant les différences les plus élevées à l'AM, 3 ont reçu une correction chirurgicale de leur genu valgum et sur les 3 sujets avec les valeurs moyennes des 2 localisations les plus élevées au pied opéré, 2 avait un varus corrigé. La seule personne présentant une moyenne négative des différences pied opéré-pied sain, possède les plus basses valeurs au mTPD de la population testée, avait un valgus, un IMC à 36 kg/m², la durée d'intervention la plus importante sous garrot recensée et 2 PTG (**Ann. VIII**).

4. 4. Cas particuliers

Pour chaque outil utilisé et chaque zone testée, les moyennes et médianes des différences pied opéré-pied sain sont positives, de manière plus ou moins importante. Il existe une corrélation entre les mesures du TPD et du mTPD significative (< 0.05) pour l'AM et très significative (< 0.01) pour le talon, du côté sain, et une corrélation significative du côté opéré pour l'AM. Il n'apparaît aucune corrélation entre les valeurs obtenues par MSW et les autres mesures. Les mesures recueillies par TPD et mTPD sont plus uniformes selon les sites, que celles recueillies aux MSW. Cela apparaît notamment lors de la comparaison des seuils de perception du talon avec les autres sites, décrite précédemment (**Tab. I-III**). La moyenne des différences pied opéré-pied sain, récupérée au mTPD, est doublée à l'AM (0.45 ; 0.19), par rapport au TPD.

Plusieurs cas particuliers nous sont apparus lors de l'analyse des données. Celui du patient n°7, 81 ans, ancien agriculteur, ancien footballeur, qui jardinait beaucoup. Cet individu, sujet aux callosités plantaires, a des seuils élevés quel que soit le pied testé ou l'outil utilisé, notamment au TPD et au mTPD pour lesquels il possède les valeurs les plus élevées de la population. Il présente également la deuxième différence la plus importante recensée aux MSW mais très peu de différence aux autres tests. Les patientes 4 et 5, respectivement âgées de 77 et 84 ans. La première, porteuse de 2 PTG, la seconde d'une seule, pratiquaient la marche régulièrement, très peu de temps avant leur opération chirurgicale. Elles démontrent chacune une sensibilité discriminative statique et dynamique pratiquement similaire entre les deux pieds, ainsi que des valeurs parmi les 3 plus basses de notre population. Il en est de même au test des MSW, pour lequel les valeurs sont tout de même bien en dessous de la moyenne du groupe. Nous n'avons pas observé de rapport ou de corrélation entre les valeurs mesurées dans notre population et les critères suivants : le temps écoulé entre l'intervention et les tests, le côté opéré et le pied dominant.

5. DISCUSSION

5. 1. Interprétation des résultats

A notre connaissance il n'y a pas de littérature qui traite de la sensibilité plantaire chez le sujet âgé porteur d'une prothèse totale de genou. Il n'existe pas non plus de normes chez le sujet sain pour les tests utilisés. Nous avons donc rassemblé les valeurs moyennes et normes proposées aux MSW par les différents auteurs (**Ann. IX**), les résultats obtenus par notre population sont bien au-dessus des valeurs retrouvées auprès d'adultes jeunes. Cela est conforme à ce que l'on retrouve dans la littérature : avec l'âge, les seuils perception augmentent pour tous les tests et la sensibilité diminue (51,65–69). Le concours de différents processus établis tels que, l'altération de la qualité du tissu nerveux dès 60 ans (70,71), la baisse de la vitesse de conduction et des potentiels d'action (67,71), la diminution de la densité nerveuse et le nombre de mécanorécepteurs au sein de l'épiderme (64,66,71,72). Pour les MSW, Perry et al a étudié une importante population, plus jeune, âgée de 65 à 73 ans. Ils possédaient des seuils moyens supérieurs à ceux obtenus par nos participants aux deux sites testés (67), idem pour les autres populations âgées et saines, testées dans la littérature.

A propos du TPD, nous disposons de très peu de littérature s'intéressant à la voûte plantaire chez sujet sain. Caitley et al retrouve chez 28 sujets jeunes, une moyenne mesurée à l'arche latérale du pied égale à 20.9 mm. Cette moyenne n'est pas comparable à nos résultats aux vues de l'âge et des zones testées, mais permet d'avoir une idée globale de l'échelle de valeurs retrouvée au pied. Les mesures recensées au sein de la population que nous avons testée sont du même ordre. Nous n'avons pas trouvé de littérature abordant l'utilisation du mTPD sur la voûte plantaire.

Nous avons réalisé le test de Wilcoxon avec et sans les mesures du patient n°2 qui, avait une callosité importante sous le talon et un seuil de perception de 127g, largement supérieur à la moyenne du reste du groupe à cette zone (2.781 g). Avec ou sans le sujet n°2, il n'apparaît pas de différence significative entre le pied sain et le pied opéré au niveau du talon. Cependant, il apparaît qu'au niveau de l'arche médiale, en l'absence des valeurs du sujet n°2, la différence pied opéré-pied sain est peu significative ($p < 0.1$).

Conformément à ce que l'on retrouve dans la littérature, la zone du talon est très peu sensible et démontre le plus haut seuil de sensibilité (29,61,64,73). La densité de cellules de Merkel y est diminuée par rapport aux corpuscules de Meissner (51) et le revêtement cutané y est plus dur et épais (52,74,75)

Certains patients avec 2 PTG présentaient les seuils tactiles les plus élevés, côté sain. Ce n'est pas un fait anodin et il semble confirmer notre hypothèse principale selon laquelle les patients avec une prothèse de genou ont une diminution de la sensibilité plantaire. Elle persisterait plus de 2 ans après l'opération, malgré la rééducation. Cependant, si l'on compare la moyenne des seuils de perception au tact léger, mesurée côté sain, chez les patients ayant 1 ou 2 PTG, ce sont les patients avec 2 PTG qui ont les plus petits seuils de perception. Ils ont alors en moyenne une meilleure sensibilité tactile selon les MSW. Cependant un biais lié à l'âge existe, nous devons mentionner le fait que la moyenne d'âge des personnes avec 2 PTG (72 ans) est bien inférieure à celle des sujets avec 1 PTG (81 ans). Selon la littérature, cela implique une meilleure qualité des voies de la sensibilité chez les patients avec 2 PTG, plus jeunes.

De la même façon que le nombre de pas réalisés au cours d'une journée entraîne une amélioration de la sensibilité au tact léger entre le matin et le soir (61), la marche est peut-être une activité favorisant l'entretien d'une bonne sensibilité de la voûte plantaire. On remarque notamment le cas des patientes 4 et 5, présentant de très basses valeurs aux tests. Cela correspond à de bien meilleures sensibilité au tact léger et discriminatives par rapport au reste de la population testée, et tend à corroborer cette hypothèse. Cependant le patient n°7 avait également une activité physique régulière encore peu de temps avant son opération mais présentait des seuils très élevés tous tests confondus. D'après la littérature, il semblerait que la profession ait une influence sur les tests de sensibilité, les métiers manuels entraîneraient une diminution des sensibilités discriminative et tactile (76,77).

Au niveau de P1, nous avons trouvé que les valeurs les plus importantes observées aux MSW étaient détenues par des patientes présentant un hallux valgus. Nous savons que la pathogénie de l'hallux valgus correspond à l'association de différents facteurs, notamment extrinsèques, dont le port de talon et une augmentation du poids porté au niveau de la 1^{ère} articulation métatarsophalangienne de l'hallux (78). Cette surpression appliquée sur le revêtement cutané de manière très localisée favorise l'apparition d'hyperkératinisation (63) potentiellement responsable de ces seuils de perception élevés aux MSW. Elles n'ont aucun retentissement sur les autres tests. En effet, nous avons pris connaissance de l'impact de la qualité de la peau, son épaisseur (majorée par une hyperkératinisation) et sa rigidité, sur les tests de sensibilité utilisés. Elle n'a d'influence que sur la sensibilité au tact léger, testé aux MSW. L'évaluation de la sensibilité discriminative n'est pas perturbée (52,75). Cela pourrait expliquer l'absence de corrélation que nous retrouvons, entre les mesures observées aux MSW et au TPD. Dans notre étude, nous disposions ainsi d'éléments prenant en compte ou non, les caractéristiques de la peau. Nous pouvons considérer cela comme un biais ou bien comme un supplément d'information, puisque la qualité de la peau est certainement un facteur important du ressenti des pressions, son influence sur la perception du tact léger l'atteste. De la même façon, les plus hauts seuils ainsi que les plus grandes différences pied opéré-pied sain au tact léger sont obtenus sur des pieds calleux. Ces grandes différences sont peut être également liées au fait que ces patients n'avaient souvent qu'une PTG et donc un côté sain n'ayant jamais subi d'intervention ou de douleurs liées à la gonarthrose.

Lors de l'analyse des résultats, nous remarquons que les différences pied opéré-pied sain sont majoritairement nulles pour P5 et le talon. Ces zones sont également celles avec les plus grands seuils de perception, or plus le monofilament utilisé possède un grand équivalent log, plus la force en g qui le sépare des monofilaments suivant et précédent est importante. Ainsi plus l'équivalent est fort moins le test sera sensible et précis, ce qui nous permet de nous demander si ces « nuls » sont réels ou simplement induit par le manque croissant de précision du matériel lors de la mesure de seuils de perception élevés.

Les patients présentant un genu valgum préopératoire présentent une différence pied opéré-pied sain importante au TPD et au mTPD, au niveau de l'AM. Une étude de la distribution plantaire des pressions a été réalisée sur 46 patients atteints de gonarthrose, divisés en 3 groupes : « genu valgum » ; « genu varum » ; « normal ». Elle montre que les patients avec un valgus présentent une inversion de cheville et une augmentation nette de la pression sur la partie médiale de l'avant-pied et des orteils associée à une diminution voire une disparition de la pression appliquée par l'isthme du pied (79). Une diminution de la stimulation des mécanorécepteurs à cet endroit, pourrait entraîner une diminution de leur capacité à déclencher un influx nerveux. Une étude réalisée sur des sujets astronautes a permis d'analyser les seuils de sensibilité au vibromètre de leur voûte plantaire, avant et après une mission de deux semaines en apesanteur (80). Le résultat en fut une augmentation des seuils de stimulation des mécanorécepteurs à adaptation lente, ceux évalués dans notre étude, liée à la diminution très importante de la stimulation de ces récepteurs, sans changements histologiques du système nerveux périphérique. L'hypothèse avancée par l'auteur est que le système nerveux central, en l'absence de stimulation de ces récepteurs, a diminué leur sensibilité au profit des mécanorécepteurs à adaptation rapide plus adéquat, en l'absence de contact avec le sol. Peut-être qu'en cas de diminution de la stimulation d'un territoire cutané par des pressions extérieures, le système nerveux central est capable de « mettre sous silence » les récepteurs qui y sont localisés. Le fait contraire, selon lequel une stimulation intense et le surentraînement d'une zone pourrait permettre une augmentation de sa sensibilité et une diminution de ses seuils de perception. Cela concorderait avec les faibles seuils de sensibilité mesurés côté opéré au TPD, au niveau de P1, chez les patients avec un genu valgum, dont la distribution des pressions est augmentée sur la partie médiale du pied. Pareillement, les résultats aux MSW en P5 des patients avec un genu varum, qui appliquent plus de pression sur la partie latérale du pied, sont

parmi les plus bas. Ils possèdent donc une meilleure sensibilité au tact léger à cet endroit, que le reste de la population.

Les plus fortes différences pied opéré-pied sain mesurées au TPD et au mTPD, en P5, sont également détenues par des patients avec un genu valgum. Malheureusement tous les comptes rendus opératoires n'étaient pas tous détaillés, mais la plupart mentionnait une technique de correction du valgus, appelée « pie crust ». Cette technique consiste à réaliser des incisions dans la bandelette ilio-tibiale et la capsule latérale du genou, à son angle postéro-latérale, afin de libérer le compartiment latéral de la tension exercée par les tissus mous (81). Clarke et al mentionne le risque de lésion associé à la proximité anatomique entre la localisation des incisions et le nerf fibulaire commun (81). Or nous savons que le nerf cutané sural latéral bénéficie d'une collatérale du nerf fibulaire commun, le rameau communicant fibulaire du nerf fibulaire (22). Comme nous l'avons vu précédemment, l'innervation sensitive de P5 est le nerf cutané sural latéral. L'ischémie temporaire de la zone, causée par cette technique, pourrait être à l'origine d'une augmentation du seuil de sensibilité discriminative comparé au côté sain. La seconde hypothèse est la même que celle précédemment énoncée, correspondant à une absence de stimulation de la zone P5, qui est totalement exclue lors du passage du pas et de l'équilibre statique chez le patient présentant une gonarthrose associée à un valgus (79).

Quelques patients présentent des différences pied opéré-pied sain négatives et démontrent une meilleure sensibilité tactile ou discriminative côté opéré. Elles apparaissent de manière assez uniforme quel que soit le site de stimulation tous tests confondus. Elles peuvent s'expliquer par une asymétrie de transfert du poids du corps entre les membres inférieurs, en faveur du membre sain. Elle fut mesurée sur un faible effectif avant et après la pose de la prothèse de genou lors de l'équilibre debout statique (82). Elle est due à la douleur, la faiblesse de l'appareil extenseur du côté opéré et au manque de proprioception du genou atteint, et pourrait impliquer une apparition plus précoce d'hyperkératinisation sur les zones d'appuis plantaires côté sain. Car ce dernier doit supporter un pourcentage plus important du poids du corps, comparé au côté opéré. Ce déséquilibre semble subsister jusqu'à 2 années après l'opération. Malgré la rééducation, il ne semble se corriger qu'après la pose de la seconde prothèse, lorsqu'elle a lieu (83). Les callosités n'ont d'effet que sur les mesures réalisées aux MSW, comme vu précédemment, cette hypothèse ne permet donc pas d'expliquer pourquoi le

pied opéré pourrait obtenir un meilleur score aux TPD et mTPD. Au contraire, ce déficit de transfert du poids de corps côté arthrosique pourrait entraîner une diminution de la sollicitation des mécanorécepteurs de la voûte plantaire ipsilatérale et expliquerait la diminution moyenne de la sensibilité observée côté opéré par rapport au côté sain.

Une autre hypothèse nous a semblé vraisemblable concernant la détérioration de la sensibilité du côté arthrosique. Elle trouverait son origine au niveau cérébral, en particulier dans le thalamus, dont l'une des fonctions est de faire le relai des afférences sensorielles extéroceptives vers le cortex pariétal. Une douleur chronique aurait pour conséquence l'atrophie thalamique contralatérale vérifiable en imagerie à résonance magnétique. Cela a été vérifié sur une population de patients avec une arthrose de hanche douloureuse et des sujets lombalgiques comparés à des groupes contrôles (84,85). Selon les auteurs, cette atteinte a un retentissement négatif sur la perception extéroceptive, en des zones différentes de la zone de douleur primaire (85,86). Peut-être que la douleur chronique, liée à la gonarthrose, au sein de notre population a-t-elle des répercussions sur la sensibilité de la voûte plantaire par le biais de cette perte de substance grise thalamique. L'étude réalisée sur les patients sujets à une arthrose de hanche douloureuse a permis de montrer que la pose d'une prothèse, associée à la diminution de la douleur et l'amélioration fonctionnelle, permet une récupération. Cette atrophie est donc réversible une fois ses causes traitées (84).

5. 2. Limites et difficultés rencontrées

Les deux principales limites de notre étude sont la taille réduite de notre échantillon, et l'utilisation d'outils d'évaluation de la sensibilité dont les résultats sont très subjectifs même si les protocoles utilisés avaient pour objectif de rendre ces tests les plus précis et reproductibles possible. La réalisation d'une comparaison bilatérale est conseillée (45), mais elle implique un côté sain, c'est pourquoi au début de l'élaboration de notre protocole, la présence de 2 PTG était un motif d'exclusion. Au vue du faible nombre de personnes n'ayant bénéficié que d'une seule PTG présentes au C.R.F. de Quingey au moment de notre étude, il est apparu plus pertinent de revoir nos exigences à la baisse et de n'exclure que ceux dont la première PTG datait de moins de 2 ans. Il était difficile de réaliser les tests comparatifs sur un membre

réellement sain, puisque une grande majorité des gonarthroses unilatérales deviennent bilatérales (37,38) et sont donc opérées en conséquence.

Même si la littérature n'est pas unanime à ce sujet, les femmes semblent avoir une sensibilité plus fine que les hommes, notre population n'est pas paritaire nous n'avons pas donc pu faire de comparaison hommes-femmes. Mais cela n'a que peu d'impact, puisque l'objet de notre étude consiste à une comparaison intra-individuelle.

Les biais connus de l'utilisation des MSW sont la variabilité des mesures selon les conditions d'humidité et de température (50,87), la diminution de la sensibilité du test avec les seuils élevés et les fluctuations des mesures dues à la vibration de la main de l'examineur (29). La répétition des stimulations pourrait épuiser les réponses des mécanorécepteurs par sommation. Bell-Krotoski et al explique qu'il n'y aurait aucune influence (29) et qu'il n'existe aucune preuve du contraire. Le protocole 4-2-1 semble éliminer ce possible biais puisque quel que soit le seuil de la zone testée, le nombre de répétitions nécessaires à établir le seuil de perception (entre 18 et 19) est constant pour chaque sujet.

La réalisation de l'algorithme 4-2-1 est applicable au TPD cependant nous n'en avons pas pris connaissance au moment de l'expérimentation. Etant donné sa meilleure fiabilité intra-observateur (88), nous aurions opté pour cette méthode. Mais les résultats restent soumis à des variations inter-individuelles et dépendent largement du ressenti du patient face à ce stimulus (27). D'autres facteurs ont pu altérer la reproductibilité des mesures au TPD, ne serait-ce que l'exigence de la méthode qui consiste à appliquer deux pointes en même temps, à pressions égales, sur un relief non plan, en ayant pour seul feedback le blanchiment de la peau. Ce test demeure sujet aux fluctuations, malgré un entraînement avant le début de l'expérimentation.

Lors de la réalisation du mTPD, une difficulté s'ajoute, le déplacement simultané des deux pointes tout en évitant la lésion des téguments.

Nous aurions préféré réaliser les tests le matin, avant que le sujet n'ait eu une quelconque stimulation des mécanorécepteurs, comme la séance de kinésithérapie ou la marche qui

pourraient être considérés comme une source de biais supplémentaire (61). Cette possibilité nous est parue rapidement incompatible avec le bon déroulement du stage qui se faisait en parallèle de notre étude.

Dans notre recherche nous ne nous sommes intéressés qu'aux mécanorécepteurs SAI (cellules de Merkel) et SA II (corpuscules de Meissner). Il eût été intéressant d'avoir recours à un matériel plus important incluant un dispositif d'évaluation des mécanorécepteurs à adaptation rapide, à l'aide d'un vibromètre (52,10).

Il serait intéressant de mesurer la sensibilité plantaire avec des mesures itératives réparties du pré-opératoire jusqu'à la fin de la rééducation standard et évaluer la nécessité ou non d'une prise en charge spécifique de la sensibilité plantaire. Il y aurait une corrélation entre le nombre de pas réalisés et l'amélioration de la sensibilité au cours de la journée (61). Ce faisant, une prise en charge classique alliant le travail des appuis, le transfert de poids de corps et la reprise de la marche pourraient être suffisante pour pérenniser ces gains sur le long terme.

L'utilisation d'un outil d'exploration de l'équilibre, serait complémentaire de l'évaluation de la sensibilité et permettrait d'analyser l'impact de la rééducation de la sensibilité plantaire sur le contrôle postural.

Les hypothèses proposées afin d'expliquer les différences observées d'un côté à l'autre sont plus liées à la gonarthrose et ses conséquences qu'à l'intervention. Une mesure réalisée en préopératoire permettrait d'affirmer ou d'infirmer cette observation.

Menz et al, ont pu identifier, parmi d'autres multiples facteurs, que la diminution de sensibilité des afférences podales était un critère qui différenciait le sujet âgé chuteur du non-chuteur (89). Nous pouvons nous poser la question de la possible influence de cette perte de sensibilité superficielle de la voûte plantaire côté opéré, sur le risque de chute, au sein de cette population.

6. CONCLUSION

La majorité des résultats de cette étude est en faveur d'une diminution des sensibilités discriminative et au tact léger, au niveau de la plante du pied côté opéré suite à la pose de la PTG, par rapport au côté sain. Cependant, cette différence est plus ou moins évidente selon les patients, les zones testées et le matériel utilisé. Notamment les résultats obtenus aux MSW sont plus mitigés que ceux recueillis par le biais des autres tests. Certains cas montrent même une tendance inverse, en faveur d'une meilleure sensibilité côté opéré.

Les hypothèses proposées pour interpréter les résultats sont le plus souvent liés directement ou indirectement à la gonarthrose et ses conséquences. On pourrait donc s'attendre à ce que la diminution de sensibilité côté atteint soit déjà présente avant l'intervention. Il serait intéressant de réaliser ces mêmes mesures avant et après la pose d'une PTG afin de dissocier les effets propres à l'intervention, de ceux consécutifs à la pathologie elle-même.

Comme nous avons pu le voir précédemment, la sensibilité superficielle de la voûte plantaire est un élément important de l'équilibre postural. Elle est diminuée chez le sujet âgé mais reste un facteur fondamental dans la gestion de l'équilibre. La stimulation des afférences plantaires dans la rééducation des patients âgés ayant bénéficié d'une PTG, pourrait donc être complémentaire à la prise en charge masso-kinésithérapique classique, dans le cadre de la rééducation de l'équilibre et de la prévention des risques de chutes. La réalisation d'un protocole évaluant la sensibilité superficielle plantaire et l'équilibre dans deux groupes ayant suivi une rééducation classique avec et sans programme de stimulation des mécanorécepteurs cutanés plantaires permettrait de confirmer ou non, la place d'une rééducation sensitive dans le suivi masso-kinésithérapique des patients ayant bénéficiés d'une arthroplastie du genou.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANSM. Surveillance des dispositifs médicaux à risque : Prothèses totales de genou (PTG) Juillet 2015 [Internet]. ANSM; 2015 Juillet [cité 28 oct 2016]. Disponible sur:
http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/3798f4f2a1e239b28ddf80c8b675ee86.pdf
2. HAS. RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES ARGUMENTAIRE Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en SSR après arthroplastie totale du genou [Internet]. Saint-Denis; 2008 [cité 15 sept 2016] p. 118. Disponible sur:
http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/reeducation_genou_ptg_-_argumentaire.pdf
3. Kavounoudias A, Roll R, Roll J-P. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol.* 2001;532(3):869–878.
4. Morioka S, Okita M, Takata Y, Miyamoto S, Itaba H. Effects of changes of foot position on Romberg's quotient of postural sway and leg muscles electromyographic activities in standing. *J Jpn Phys Ther Assoc.* 2000;3(1):17–20.
5. Vaillant J, Rouland A, Martigné P, Braujou R, Nissen MJ, Caillat-Miousse J-L, et al. Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: Effect on clinical balance performance. *Man Ther.* déc 2009;14(6):661-4.
6. Levinger P, Menz HB, Morrow AD, Wee E, Feller JA, Bartlett JR, et al. Lower limb proprioception deficits persist following knee replacement surgery despite improvements

in knee extension strength. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* juin 2012;20(6):1097-103.

7. Levinger P, Menz HB, Wee E, Feller JA, Bartlett JR, Bergman NR. Physiological risk factors for falls in people with knee osteoarthritis before and early after knee replacement surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* juill 2011;19(7):1082-9.
8. Isaac SM, Barker KL, Danial IN, Beard DJ, Dodd CA, Murray DW. Does arthroplasty type influence knee joint proprioception? A longitudinal prospective study comparing total and unicompartmental arthroplasty. *The Knee.* juin 2007;14(3):212-7.
9. Meier W, Mizner R, Marcus R, Dibble L, Peters C, Lastayo PC. Total Knee Arthroplasty: Muscle Impairments, Functional Limitations, and Recommended Rehabilitation Approaches. *J Orthop Sports Phys Ther.* mai 2008;38(5):246-56.
10. Wodowski AJ, Swigler CW, Liu H, Nord KM, Toy PC, Mihalko WM. Proprioception and Knee Arthroplasty. *Orthop Clin North Am.* avr 2016;47(2):301-9.
11. Bascuas I, Tejero M, Monleón S, Boza R, Muniesa JM, Belmonte R. Balance 1 Year After TKA: Correlation With Clinical Variables. *Orthopedics.* 1 janv 2013;36(1):e6-12.
12. Nercessian OA, Ugwonalí OFC, Park S. Peroneal Nerve Palsy After Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* déc 2005;20(8):1068-73.
13. Park JH, Restrepo C, Norton R, Mandel S, Sharkey PF, Parvizi J. Common Peroneal Nerve Palsy Following Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* oct 2013;28(9):1538-42.

14. Médecine France et francophonie. Voie lemniscate (système lemniscal) - voies sensitives moelle épinière (épicritique) [Internet]. [cité 16 janv 2017]. Disponible sur:
<https://www.youtube.com/watch?v=6-SB7B7Sb-E>
15. Sensibilité [chez l'Homme]. In: Moyen Age - Ostie. Paris: Larousse; 1975. p. 12522-3.
(La grande encyclopédia).
16. Bessou M, Dupui P, Séverac A, Bessou P. Le pied, organe de l'équilibration. In:
Villeneuve P, éditeur. Pied, équilibre et posture. Paris: Ed. Frison-Roche; 1996.
17. Kapandji AI. Anatomie fonctionnelle: schémas commentés de mécanique humaine. Paris:
Maloine; 2007.
18. Méliopoulos A, Levacher C, Robert L, Ballotti R. La peau structure et physiologie.
Paris: Lavoisier; 2012.
19. Pritchard TC, Alloway KD. Neurosciences médicales: Les bases neuroanatomiques et
neurophysiologiques. De Boeck Supérieur; 2002. 532 p.
20. Baumann K, Halata Z, Moll I. The Merkel Cell: Structure-Development-Function-
Cancerogenesis. Springer Science & Business Media; 2013. 252 p.
21. Boisacq-Schepens N, Crommelinck M. Neurosciences. Paris: Dunod; 2000.
22. Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur: Tome 1, Membre inférieur. Elsevier
Masson; 2007. 460 p.
23. Weinstein S. Fifty years of somatosensory research. J Hand Ther. janv 1993;6(1):11-22.

24. Bell Krotosky J. TRIBUTE TO WEINSTEIN [Internet]. [cité 12 déc 2016]. Disponible sur: http://www.timelyneuropathytesting.com/weinstein_tribute.htm
25. Roland-Gosselin A, Rabischong P, Vergnes C, Kopp B, Abate S, Fattal C, et al. Evaluation clinique de la sensibilité cutanée plantaire et péri-malléolaire chez 128 sujets sains. In: Weber B, Villeneuve P, éditeurs. Pied, équilibre et traitements posturaux. Paris: Masson; 2003.
26. Palluel E E. Contribution des afférences tactiles plantaires au maintien de l'équilibre. Effets du port de semelles à picots sur le contrôle postural quasi-statique et la sensibilité cutanée plantaire de la personne âgée. [Internet]. Université Joseph-Fourier-Grenoble I; 2008 [cité 8 nov 2016]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00343440/>
27. Janin M. Sensibilité et motricité podales: leur influence sur le contrôle des activités posturo-cinétiques de sujets sains et pathologiques [Internet]. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier; 2009 [cité 25 déc 2016]. Disponible sur: <http://thesesups.ups-tlse.fr/706/>
28. Feng Y, Schlösser FJ, Sumpio BE. The Semmes Weinstein monofilament examination as a screening tool for diabetic peripheral neuropathy. *J Vasc Surg.* sept 2009;50(3):675-682.e1.
29. Bell-Krotoski JA, Fess EE, Figarola JH, Hiltz D. Threshold Detection and Semmes-Weinstein Monofilaments. *J Hand Ther.* avr 1995;8(2):155-62.

30. Schaper NC, Apelqvist J, Bakker K. The international consensus and practical guidelines on the management and prevention of the diabetic foot. *Curr Diab Rep.* 2003;3(6):475–479.
31. Alsaeed S, Alhomid T, Zakaria H, Alwhaibi R. Normative values of two-point discrimination test among students of Princess Noura Bint Abdulrahman University in Riyadh. *Int J Adv Physiol Allied Sci.* 2014;1(1):pp–42.
32. Shibin K, Samuel AJ. The discrimination of two-point touch sense for the upper extremity in indian adults. *Int J Health Rehabil Sci.* 2013;2:38–43.
33. Spicher CJ, Hecker E, Thommen E, Rouiller EM. La place du test de discrimination de 2 points statiques dans l'examen clinique. *Douleur Analgésie.* 2005;18(2):73–78.
34. Munzinger UK, Boldt JG, Keblish PA. Primary Knee Arthroplasty [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2004 [cité 7 janv 2017]. Disponible sur: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-18816-9>
35. Berenbaum F. Arthrose [Internet]. INSERM. 2012 [cité 8 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.inserm.fr/thematiques/physiopathologie-metabolisme-nutrition/dossiers-d-information/arthrose>
36. Messier SP, Beavers DP, Herman C, Hunter DJ, DeVita P. Are unilateral and bilateral knee osteoarthritis patients unique subsets of knee osteoarthritis? A biomechanical perspective. *Osteoarthritis Cartilage.* mai 2016;24(5):807–13.

37. Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Naimark A, Weissman BN, Aliabadi P, et al. The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum.* oct 1995;38(10):1500-5.
38. Cooper C, Egger P, Coggon D, Hart DJ, Masud T, Cicuttini F, et al. Generalized osteoarthritis in women: pattern of joint involvement and approaches to definition for epidemiological studies. *J Rheumatol.* nov 1996;23(11):1938-42.
39. Spector TD, Hart DJ, Doyle DV. Incidence and progression of osteoarthritis in women with unilateral knee disease in the general population: the effect of obesity. *Ann Rheum Dis.* sept 1994;53(9):565-8.
40. Spector TD, Dacre JE, Harris PA, Huskisson EC. Radiological progression of osteoarthritis: an 11 year follow up study of the knee. *Ann Rheum Dis.* 1992;51(10):1107-1110.
41. Lerais J-M. Pathologie articulaire et péri-articulaire des membres: clinique, imagerie diagnostique et thérapeutique. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2009.
42. Gouilly P, Petitdant B. Comprendre la kinésithérapie en rhumatologie. Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine): Masson; 2006.
43. Moskowitz RW, éditeur. Osteoarthritis: diagnosis and medical/surgical management. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2007. 470 p.
44. Jolles BM, Leyvraz P-F. L'arthroplastie totale du genou: évolution et résultats actuels. *Âge.* 2006;64(7,324):65-75.

45. Collins S, Visscher P, De Vet HC, Zuurmond WWA, Perez RSGM. Reliability of the Semmes Weinstein Monofilaments to measure coetaneous sensibility in the feet of healthy subjects. *Disabil Rehabil.* janv 2010;32(24):2019-27.
46. Bell-Krotoski JA, Buford WL. The force/time relationship of clinically used sensory testing instruments. *J Hand Ther Off J Am Soc Hand Ther.* déc 1997;10(4):297-309.
47. Citaker S, Gunduz AG, Guclu MB, Nazliel B, Irkec C, Kaya D. Relationship between foot sensation and standing balance in patients with multiple sclerosis. *Gait Posture.* juin 2011;34(2):275-8.
48. Dyck PJ, O'Brien PC, Kosanke JL, Gillen DA, Karnes JL. A 4, 2, and 1 stepping algorithm for quick and accurate estimation of cutaneous sensation threshold. *Neurology.* août 1993;43(8):1508-12.
49. Burcal CJ, Hoch MC, Wikstrom EA. Effects of a Stocking on Plantar Sensation in Individuals with and without Ankle Instability: Footwear and Cutaneous Sensation. *Muscle Nerve* [Internet]. août 2016 [cité 11 nov 2016]; Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/mus.25362>
50. Berquin AD, Lijesevic V, Blond S, Plaghki L. An adaptive procedure for routine measurement of light-touch sensitivity threshold. *Muscle Nerve.* sept 2010;42(3):328-38.
51. Hennig EM, Sterzing T. Sensitivity Mapping of the Human Foot: Thresholds at 30 Skin Locations. *Foot Ankle Int.* oct 2009;30(10):986-91.

52. Strzalkowski NDJ, Triano JJ, Lam CK, Templeton CA, Bent LR. Thresholds of skin sensitivity are partially influenced by mechanical properties of the skin on the foot sole. *Physiol Rep*. 8 juin 2015;3(6):e12425-e12425.
53. Nolan MF. Two-point discrimination assessment in the upper limb in young adult men and women. *Phys Ther*. juill 1982;62(7):965-9.
54. Two point discrimination [Internet]. [cité 25 févr 2017]. Disponible sur: http://healthcaresciencesocw.wayne.edu/sensory/6_1.htm
55. Noh J-W, Park B-S, Kim M-Y, Lee L-K, Yang S-M, Lee W-D, et al. Differences in two-point discrimination and sensory threshold in the blind between braille and text reading: a pilot study. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(6):1919-22.
56. Franco PG, Bohrer RCD, Rodacki ALF. Intra-observer reproducibility of the feet soles two-point discrimination test in asymptomatic elderly and young individuals. *Rev Bras Fisioter Sao Carlos Sao Paulo Braz*. déc 2012;16(6):523-7.
57. Menier C, Forget R, Lambert J. Evaluation of two-point discrimination in children: reliability, effects of passive displacement and voluntary movements. *Dev Med Child Neurol*. juin 1996;38(6):523-37.
58. Dellon AL. The moving two-point discrimination test: clinical evaluation of the quickly adapting fiber/receptor system. *J Hand Surg*. 1978;3(5):474-481.

59. Auld ML, Ware RS, Boyd RN, Moseley GL, Johnston LM. Reproducibility of Tactile Assessments for Children with Unilateral Cerebral Palsy. *Phys Occup Ther Pediatr*. 22 mars 2012;32(2):151-66.
60. Moberg E. Two-point discrimination test. A valuable part of hand surgical rehabilitation, e.g. in tetraplegia. *Scand J Rehabil Med*. 1990;22(3):127-34.
61. Alfuth M, Rosenbaum D. Are diurnal changes in foot sole sensation dependent on gait activity? *Neurosci Lett*. oct 2011;504(3):247-51.
62. Mann RA, Mann JA. Keratotic disorders of the plantar skin. *J Bone Jt Surg Am*. 2003;85(5):938-955.
63. Spink MJ, Menz HB, Lord SR. Distribution and correlates of plantar hyperkeratotic lesions in older people. *J Foot Ankle Res [Internet]*. déc 2009 [cité 11 nov 2016];2(1). Disponible sur: <http://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/1757-1146-2-8>
64. Wells C, Ward LM, Chua R, Inglis JT. Regional variation and changes with ageing in vibrotactile sensitivity in the human footsole. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003;58(8):B680-B686.
65. Legge GE, Madison C, Vaughn BN, Cheong AMY, Miller JC. Retention of high tactile acuity throughout the life span in blindness. *Percept Psychophys*. 1 nov 2008;70(8):1471-88.
66. Shaffer SW, Harrison AL. Aging of the Somatosensory System: A Translational Perspective. *Phys Ther*. 1 févr 2007;87(2):193-207.

67. Perry SD. Evaluation of age-related plantar-surface insensitivity and onset age of advanced insensitivity in older adults using vibratory and touch sensation tests. *Neurosci Lett.* janv 2006;392(1-2):62-7.
68. Tremblay F, Mireault A-C, Dessureault L, Manning H, Sveistrup H. Postural stabilization from fingertip contact II. Relationships between age, tactile sensibility and magnitude of contact forces. *Exp Brain Res.* juill 2005;164(2):155-64.
69. Stevens JC, Alvarez-Reeves M, Dipietro L, Mack GW, Green BG. Decline of tactile acuity in aging: a study of body site, blood flow, and lifetime habits of smoking and physical activity. *Somatosens Mot Res.* sept 2003;20(3-4):271-9.
70. Jacobs JM, Love S. Qualitative and quantitative morphology of human sural nerve at different ages. *Brain.* 1985;108(4):897-924.
71. B. Forest Plucknette, M. S. Brogan, J. M. Anain, J. M. Anain. Normative Values for Foot Sensation: Challenging the 5.07 Monofilament. *JDFC.* 2012;4(4):16-25.
72. Besné I, Descombes C, Breton L. Effect of age and anatomical site on density of sensory innervation in human epidermis. *Arch Dermatol.* nov 2002;138(11):1445-50.
73. McPoil TG, Cornwall MW. Plantar tactile sensory thresholds in healthy men and women. *The Foot.* déc 2006;16(4):192-7.
74. Thomas VJ, Patil KM, Radhakrishnan S, Narayanamurthy VB, Parivalavan R. The Role of Skin Hardness, Thickness, and Sensory Loss on Standing Foot Power in the

Development of Plantar Ulcers in Patients with Diabetes Mellitus—A Preliminary Study.
Int J Low Extrem Wounds. sept 2003;2(3):132-9.

75. Kowalzik R, Hermann B, Biedermann H, Peiper U. Two-point discrimination of vibratory perception on the sole of the human foot. *Foot Ankle Int.* 1996;17(10):629–634.
76. Birke JA, Brandsma JW, Schreuders TA, Piefer A. Sensory testing with monofilaments in Hansen's disease and normal control subjects. *Int J Lepr Mycobact Dis Off Organ Int Lepr Assoc.* sept 2000;68(3):291-8.
77. Kets CM, Van Leerdam ME, Van Brakel WH, Deville W, Bertelsmann FW. Reference values for touch sensibility thresholds in healthy Nepalese volunteers. *Lepr Rev.* mars 1996;67(1):28-38.
78. Perera AM, Mason L, Stephens MM. The Pathogenesis of Hallux Valgus: *J Bone Jt Surg- Am Vol.* sept 2011;93(17):1650-61.
79. Motooka T, Tanaka H, Ide S, Mawatari M, Hotokebuchi T. Foot pressure distribution in patients with gonarthrosis. *The Foot.* juin 2012;22(2):70-3.
80. Lowrey CR, Perry SD, Strzalkowski NDJ, Williams DR, Wood SJ, Bent LR. Selective skin sensitivity changes and sensory reweighting following short-duration space flight. *J Appl Physiol.* 15 mars 2014;116(6):683-92.
81. Clarke HD, Schwartz JB, Math KR, Scuderi GR. Anatomic risk of peroneal nerve injury with the « pie crust » technique for valgus release in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* janv 2004;19(1):40-4.

82. Thewlis D, Hillier S, Hobbs SJ, Richards J. Preoperative asymmetry in load distribution during quiet stance persists following total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* mars 2014;22(3):609-14.
83. Ishii Y, Noguchi H, Takeda M, Sato J, Kishimoto Y, Toyabe S-I. Changes of body balance before and after total knee arthroplasty in patients who suffered from bilateral knee osteoarthritis. *J Orthop Sci.* sept 2013;18(5):727-32.
84. Gwilym SE, Filippini N, Douaud G, Carr AJ, Tracey I. Thalamic atrophy associated with painful osteoarthritis of the hip is reversible after arthroplasty: A longitudinal voxel-based morphometric study. *Arthritis Rheum.* 1 juin 2010;62(10):2930-40.
85. Apkarian AV. Chronic Back Pain Is Associated with Decreased Prefrontal and Thalamic Gray Matter Density. *J Neurosci.* 17 nov 2004;24(46):10410-5.
86. Mailis-Gagnon A, Nicholson K. On the nature of nondermatomal somatosensory deficits. *Clin J Pain.* 2011;27(1):76-84.
87. Haloua MH, Sierevelt I, Theuvenet WJ. Semmes-Weinstein Monofilaments: Influence of Temperature, Humidity, and Age. *J Hand Surg.* juill 2011;36(7):1191-6.
88. Wikstrom EA, Allen G. Reliability of two-point discrimination thresholds using a 4-2-1 stepping algorithm. *Somatosens Mot Res.* oct 2016;33(3-4):156-60.
89. Menz HB, Morris ME, Lord SR. Foot and ankle risk factors for falls in older people: a prospective study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2006;61(8):866-870.

90. Delmas P, Hao J, Rodat-Despoix L. Molecular mechanisms of mechanotransduction in mammalian sensory neurons. *Nat Rev Neurosci.* mars 2011;12(3):139-53.
91. Pham T. Critères de diagnostic et de suivi de l'arthrose. *Rev Rhum Monogr.* avr 2010;77(2):128-34.
92. Snyder BA, Munter AD, Houston MN, Hoch JM, Hoch MC. Interrater and intrarater reliability of the semmes-weinstein monofilament 4-2-1 stepping algorithm: Reliability of the 4-2-1 Algorithm. *Muscle Nerve.* juin 2016;53(6):918-24.
93. Gerthoffert J. Cartographie du seuil de perception de la pression de la plante du pied [Internet] [Mémoire]. 1982. Disponible sur: http://kinedoc.org/Kinedoc-war/KinedocDownloadDocument.do?nomFichierUser=AK1982_9_10_469-474.pdf&uri=85c8fc69-b45a-4eaa-9bbb-875124eb7cdd.pdf
94. Prätorius B, Kimmeskamp S, Milani T. The sensitivity of the sole of the foot in patients with Morbus Parkinson. *Neurosci Lett.* août 2003;346(3):173-6.
95. McPoil TG, Cornwall MW. Plantar tactile sensory thresholds in healthy men and women. *Foot.* déc 2006;16(4):192-7.
96. Tracey EH, Greene AJ, Doty RL. Optimizing reliability and sensitivity of Semmes-Weinstein monofilaments for establishing point tactile thresholds. *Physiol Behav.* févr 2012;105(4):982-6.

ANNEXES

ANNEXE I :

Schéma des voies lemniscales et extralemniscales

ANNEXE II :

Morphologie et localisation des récepteurs cutanés

ANNEXE III :

Classification radiologique selon Kellgren et Lawrence

ANNEXE IV :

Formulaire de consentement éclairé

ANNEXE V :

Feuille de recueil des données

ANNEXE VI :

Procédure de testing selon le stepping algorithm 4-2-1 de Dyck

ANNEXE VII

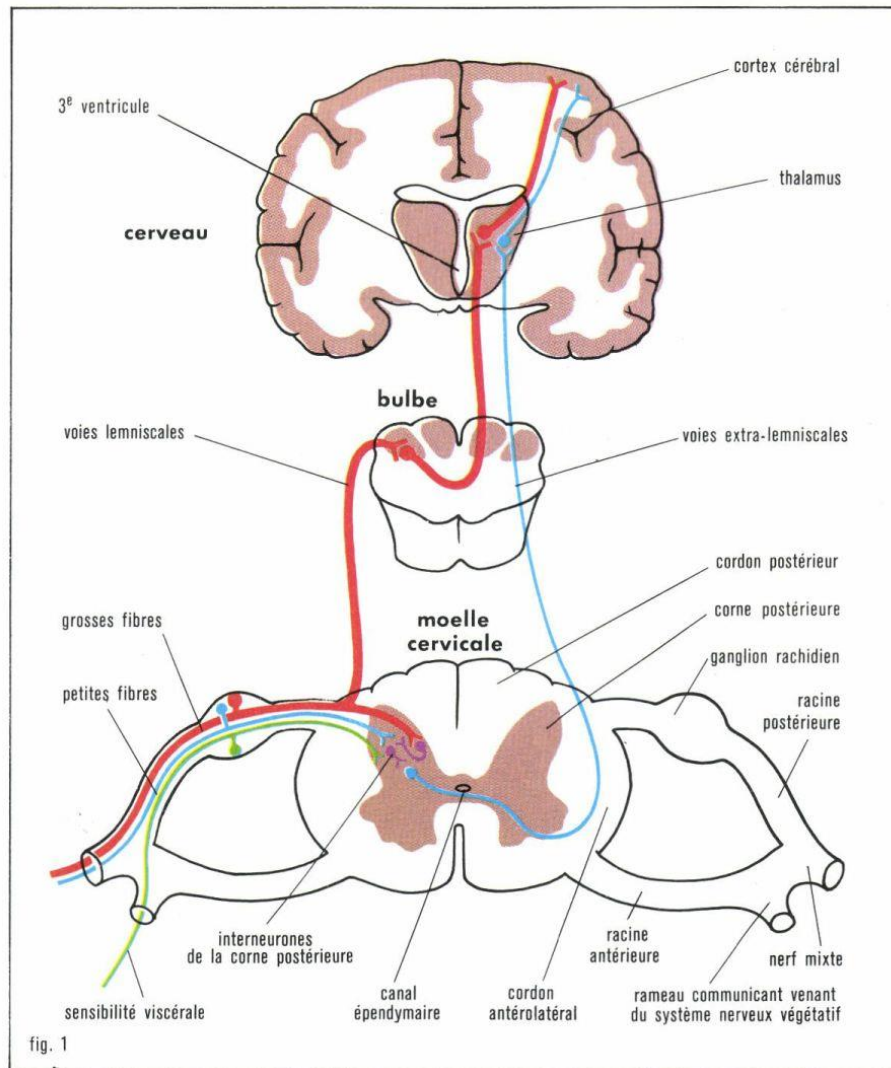
Recueil des données mesures obtenues au sein de notre population

ANNEXE VIII :

Récapitulatif des normes au pied retrouvées pour les MSW, dans la littérature

ANNEXE I

Schéma représentant le trajet des voies lemniscales et extralemniscales, du cortex cérébral à l'émergence radulaire (15)



Trajet des voies sensibles : coupes transversales schématisées de la moelle (au cou), du bulbe rachidien et du cerveau.

ANNEXE II

Morphologie et localisation des récepteurs cutanés (19)

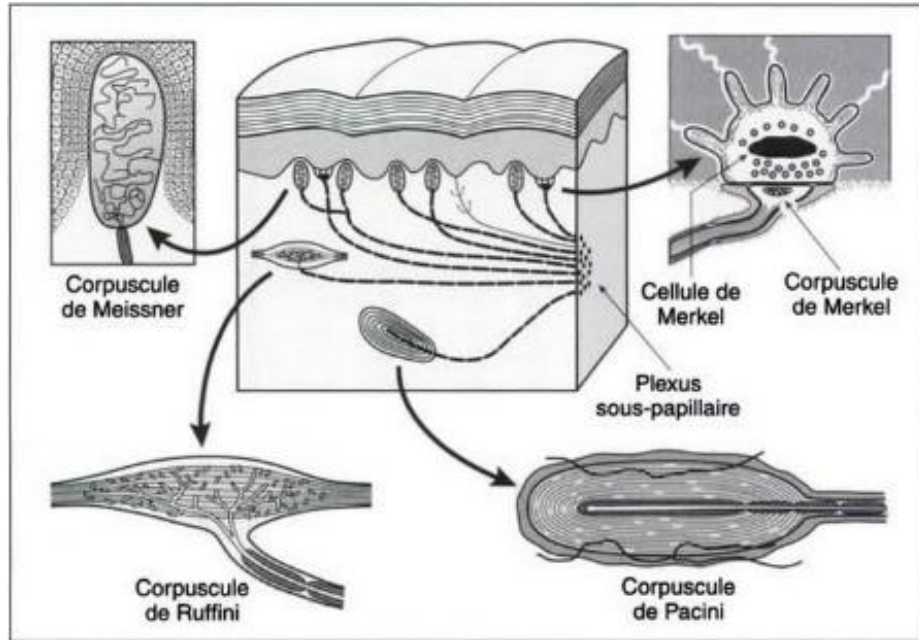


Tableau récapitulatif des modes de stimulation et fonctions des récepteurs cutanés (90)

	a	b	c	d	e	f	g
Receptor subtype	Hair follicles	Meissner corpuscle	Pacinian corpuscle	Merkel cell-neurite complex	Ruffini corpuscle	C-fibre LTM	Mechano-nociceptor Polymodal nociceptor
Skin stimulus	Light brush	Dynamic deformation	Vibration	Indentation depth	Stretch	Touch	Injurious forces
Afferent response	RA, LT	RA, LT	RA, LT	SA, LT	SA, LT	SA, LT	SA, HT
Stimulus							
Receptive field							
Perceptual functions	Skin movement	Skin motion; detecting slipping objects	Vibratory cues transmitted by body contact when grasping an object	Fine tactile discrimination; form and texture perception	Skin stretch; direction of object motion, hand shape and finger position	Pleasant contact; social interaction	Skin injury; pain

ANNEXE III

Kit de 20 monofilaments utilisé dans lors de cette étude



Compas de Weber ou pied à coulisse utilisé lors de cette étude



ANNEXE IV

Classification radiologique selon Kellgren et Lawrence (91)

Stades radiologiques de la gonarthrose	
Stade 0	Radiographie normale
Stade 1	Ostéophyte de signification douteuse
Stade 2	Ostéophyte net sans modification de l'interligne articulaire
Stade 3	Ostéophyte net et diminution de l'interligne articulaire
Stade 4	Pincement sévère de l'interligne articulaire et sclérose de l'os sous-chondral.

ANNEXE V

Formulaire de consentement éclairé

Formulaire de consentement éclairé

Je, soussigné(e), **M, Mme, Mlle**, **né(e)** le, certifie avoir été informé des termes du présent formulaire, et avoir reçu oralement toutes les informations nécessaires précisant les modalités de déroulement de cette étude.

J'ai pu poser toutes les questions nécessaires à la bonne compréhension de ces informations et j'ai reçu des réponses claires et précises.

J'ai disposé d'un délai de réflexion suffisant entre les informations reçues et ce consentement avant de prendre ma décision.

Je peux interrompre ma participation à tout moment, sans justification et sans compromettre la qualité des soins qui me sont dispensés.

J'accepte librement et volontairement de participer à cette recherche selon les conditions précédemment citées.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs du protocole de leurs responsabilités à mon égard et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

L'ensemble des données et des informations me concernant resteront strictement confidentielles.

Je pourrai à tout moment demander toute information complémentaire à l'investigateur du protocole.

Fait à, le

Signature de l'investigateur

Signature du volontaire, précédé de
la mention « Lu et approuvé »

ANNEXE VI

Feuille de recueil des données

Sujet n° :

Différence ressentie d'un côté à l'autre, lors de l'effleurage bilatéral: OUI / NON

Pied dominant :

Callosités :

Hallux Valgus :

PIED SAIN : Côté

Pulpe 1 : log
TPD / mTPD: cm/ cm

Pulpe 5: log
TPD / mTPD: cm/ cm

Arche médiale: log
TPD / mTPD: cm/ cm

Talon: log
TPD / mTPD: cm/ cm

PIED PATHO : Côté

Pulpe 1 : gr
TPD / mTPD: cm/ cm

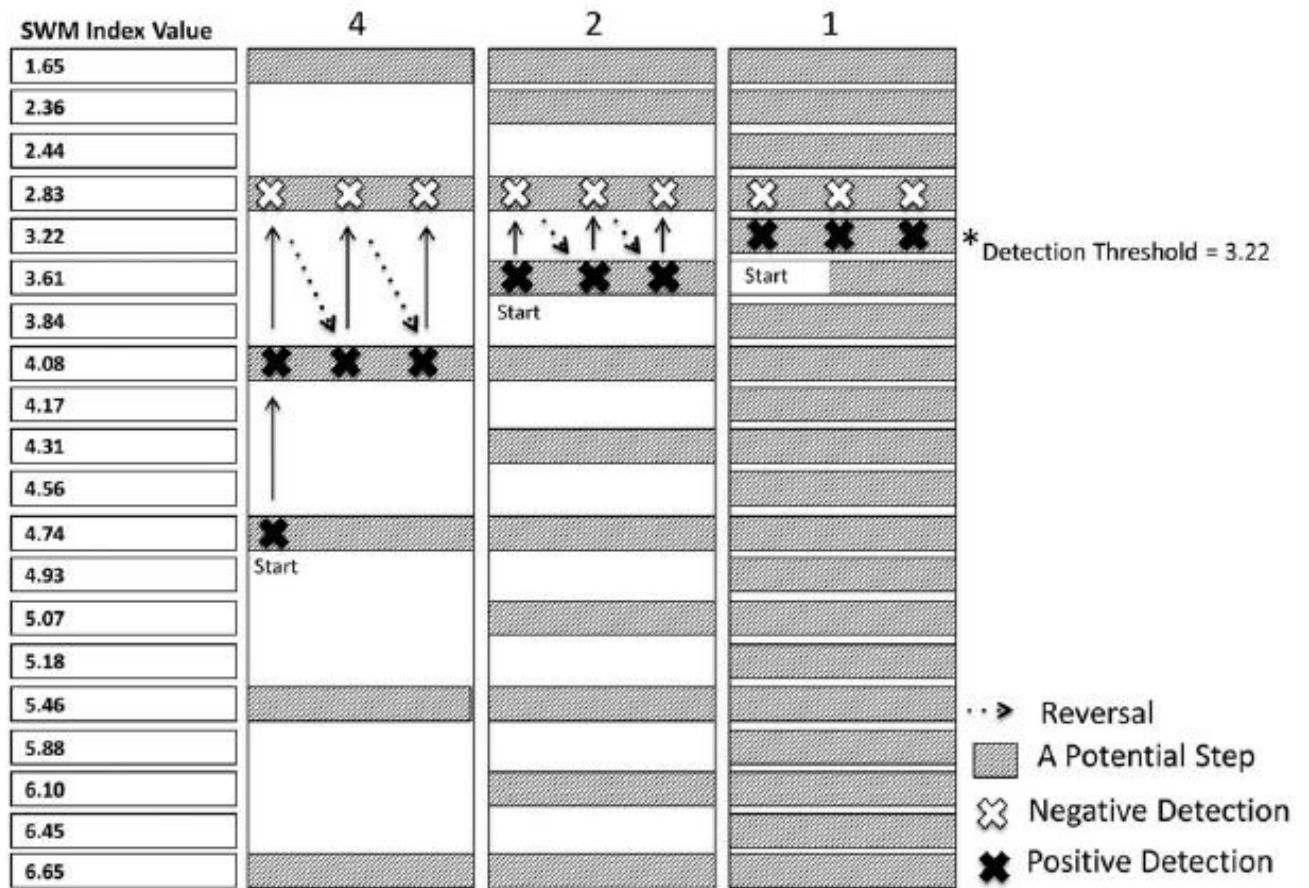
Pulpe 5: gr
TPD / mTPD: cm/ cm

Arche médiale : gr
TPD / mTPD: cm/ cm

Talon: gr
TPD / mTPD: cm/ cm

ANNEXE VII

Procédure de testing selon le stepping algorithm 4-2-1 de Dyck (92)



ANNEXE VIII

Recueil des données mesures obtenues au sein de notre population

	Pied Sain									
	MSW				TPD statique				TPD dynamique	
	Pulpe du 1	Pulpe du 5	Arche médiale	Talon	Pulpe du 1	Pulpe du 5	Arche médiale	Talon	Arche médiale	Talon
Patient 1	0,068	1,194	0,068	2,052	1,5	1,8	1,6	2,0	1,8	2,2
Patient 2	1,194	2,052	2,052	15,000	1,1	1,2	1,0	1,2	1,5	1,5
Patient 3	1,194	1,194	0,696	2,052	1,1	2,0	1,7	2,0	2,0	2,2
Patient 4	0,068	0,408	0,028	2,052	2,0	2,0	1,7	1,7	1,8	2,1
Patient 5	0,408	1,494	0,408	0,408	1,7	1,8	2,1	1,8	2,0	2,0
Patient 6	0,408	1,194	0,696	1,494	2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	3,0
Patient 7	0,696	3,632	0,166	2,052	1,8	1,5	2,3	2,5	1,2	2,2
Patient 8	1,494	2,052	1,494	5,500	2,3	2,4	3,0	3,4	3,0	3,5
Patient 9	0,068	1,494	2,052	2,052	1,7	2,0	2,3	2,2	3,0	3,3
Patient 10	2,052	3,632	2,052	5,500	2,0	2,2	2,0	1,5	2,0	1,7

	Pied opéré									
	MSW				TPD statique				TPD dynamique	
	Pulpe du 1	Pulpe du 5	Arche médiale	Talon	Pulpe du 1	Pulpe du 5	Arche médiale	Talon	Arche médiale	Talon
Patient 1	1,494	1,194	0,696	2,052	1,9	1,9	2,2	2,1	2,4	2,5
Patient 2	2,052	2,052	0,596	127,000	2,0	1,7	2,0	2,0	2,2	2,5
Patient 3	0,696	1,494	2,052	2,052	2,1	2,4	2,2	2,0	2,3	2,4
Patient 4	0,696	2,052	0,068	0,696	1,8	1,8	2,0	2,0	1,8	1,9
Patient 5	1,194	2,052	0,408	2,052	2,0	2,0	1,7	1,5	2,5	2,5
Patient 6	0,068	2,052	0,068	1,494	2,8	3,0	2,8	3,0	2,9	3,2
Patient 7	1,194	2,052	1,194	2,052	2,3	2,0	2,0	3,1	2,5	2,5
Patient 8	2,052	5,500	2,052	5,500	2,6	2,9	3,3	3,4	3,2	3,5
Patient 9	3,632	1,194	2,052	3,632	1,8	1,9	2,0	2,0	2,9	3,5
Patient 10	2,052	2,052	3,632	5,500	3,0	2,5	2,0	3,0	2,8	2,6

	Différence pied opéré-pied sain									
	MSW				TPD statique				TPD dynamique	
	Pulpe du 1	Pulpe du 5	Arche médiale	Talon	Pulpe du 1	Pulpe du 5	Arche médiale	Talon	Arche médiale	Talon
Patient 1	1,426	0,000	0,628	0,000	0,400	0,100	0,600	0,100	0,600	0,300
Patient 2	0,858	0,000	-1,456	112,000	0,900	0,500	1,000	0,800	0,700	1,000
Patient 3	-0,498	0,300	1,356	0,000	1,000	0,400	0,500	0,000	0,300	0,200
Patient 4	0,628	1,644	0,040	-1,356	-0,200	-0,200	0,300	0,300	0,000	-0,200
Patient 5	0,786	0,558	0,000	1,644	0,300	0,200	-0,400	-0,300	0,500	0,500
Patient 6	-0,340	0,858	-0,628	0,000	0,300	0,500	0,200	0,300	0,200	0,200
Patient 7	0,498	-1,580	1,028	0,000	0,500	0,500	-0,300	0,600	1,300	0,300
Patient 8	0,558	3,448	0,558	0,000	0,300	0,500	0,300	0,000	0,200	0,000
Patient 9	3,564	-0,300	0,000	1,580	0,100	-0,100	-0,300	-0,200	-0,100	0,200
Patient 10	0,000	-1,580	1,580	0,000	1,000	0,300	0,000	1,500	0,800	0,900

	Date du test	Date de l'op	J+	date de naissance	Côté opéré	1 ou 2 PTG	Age	Sexe	Garrot	Durée d'interv	Valgus	Varus	Poids	Taille	IMC	Hallux valgus	Pied dominant	Callosités
Patient 1	16/09/2016	17/07/2016	61	06/09/1944	1	2	72,03	1	non	92	5°		86	1,67	30,8	0	0	0
Patient 2	20/09/2016	08/09/2016	12	17/06/1938	1	2	78,26	0	non	68	5°		80	1,65	29,4	0	0	1
Patient 3	21/09/2016	19/08/2016	33	20/10/1932	0	1	83,92	0	oui	85		10°	63,4	1,7	21,9	0	1	1
Patient 4	27/09/2016	07/09/2016	20	31/05/1939	1	2	77,33	1	oui	100	5°		90	1,57	36,5	0	0	0
Patient 5	28/09/2016	19/09/2016	9	09/02/1932	1	1	84,64	1	non	70		5°	57,9	1,55	24,1	1	0	1
Patient 6	28/09/2016	15/09/2016	13	02/09/1942	1	2	74,07	1	non	83		6°	70,4	1,6	27,5	1	0	0
Patient 7	05/10/2016	15/09/2016	20	04/01/1957	1	2	59,75	1	non	60	2°		88	1,68	31,2	0	0	0
Patient 8	07/10/2016	19/09/2016	18	01/11/1934	1	1	81,93	0	NR	NR			85	1,82	25,7	0	1	1
Patient 9	10/10/2016	23/09/2016	17	04/09/1933	0	1	83,10	1	NR	NR		5°	56	1,57	22,7	1	0	0
Patient 10	19/10/2016	03/10/2016	16	09/11/1943	0	1	72,94	1	non	75			58,2	1,62	22,2	1	0	0

0 = droite
1 = gauche

NR = non renseigné

1 = oui 0 = droite 1 = oui
1 = gauche

ANNEXE IX

Récapitulatif des normes obtenues aux MSW sur pied sain, dans la littérature

(29,45,49,67,71,76,77,93-96)

Auteur, année	Population étudiée	Effectif	Age (ans)	Localisations et valeur(s) (g ou log)
Gerthoffert et al, 1982	Sujets voyants et non-voyants *	N= 30	19-34 ans	Orteils : de 0.320 à 0.356 g Arche médiale : 0.300 g Talon : 1.521 g
Bell-Krotoski et al, 1995	Sujets variés du Texas, Indiana et de la Louisiane, E.-U	N= 92	25 ans (9-85)	Sur 7 zones de la voûte plantaire: log 3.61 (0.408 g) Monofilament ressenti à 98 à 99% **
Kets et al, 1996	Sujets volontaires Népalais : étudiants, fermiers et salariés	N= 136	16-67 ans	Hallux, MTP† 1, MTP 5, talon : 2.00 g Plafond de la normalité selon l'auteur
Birke et al, 2000	Patients, visiteurs et salariés du McKean Rehabilitation Center de Chiang Mai, Thai.	N=112	39.5 ans (±12.7)	Hallux, Arche Médiale, Talon : log 4.31 (2.1 g) Plafond de la normalité selon l'auteur
Prätorius et al, 2003	Sujets de la population contrôle	N= 20	64 ans (±4.2)	Talon : 4.8 g Arche : 0.8 g Hallux : 2.0 g
Perry et al, 2006	Sujets volontaires Canadiens : 1 population âgée 1 population jeune	N= 95 N= 7	65-73 ans 20-30 ans	Moyennes de log Hallux : log 4.3 (1.995 g) Talon : log 5.1 (12.6 g) Hallux : 3.8 (0.631 g) Talon : 3.9 (0.794 g)
McPoil et al, 2006	Sujets volontaires de l'Université d'Arizona	N= 40	18-22 ans	Sur 6 zones de la voûte plantaire : log 3.61 (0.408 g) Moyenne identique pour chaque zone
Collins et al, 2010	Employés et étudiants du Centre Médical Universitaire d'Amsterdam	N= 66	44 ans (20-70)	Hallux - 2* - 5* - Arche médiale - latérale Log 3.56 (0.363) et log 3.68 (0.479 g) ** Hyperesthésie : log 1.65 - 2.83 Normal : log 3.22 - 4.08 Hypoesthésie : log 4.17 - 6.65

Forest Plucknette et al, 2012	Membres de l'Université de Daemen	N= 20	18-34 ans	Sur 10 zones de la voûte plantaire Valeur médiane : log 3.61 (0.408 g)
		N= 20	35-64 ans	log 4.31 (2,041 g)
		N= 20	65 ans et +	log 4.74 (5.50 g)
Tracey et al, 2012	Employés et étudiants de l'Université de Pennsylvanie	N= 24	22.5 ans (18-28)	Hallux : log 3.22 - 3.61 0.166 g - 0.408 g
Burcal et al, 2016	Volontaires au sein d'une Université Groupe contrôle	N= 15	20.27 ans (±4.15)	MTP1 - MTP5 - Talon log 3.22 - log 3.22 - log 3.61 0.166 g - 0.166 g - 0.408 g

*Assimilés au sein de la même population, par l'auteur car présentant des moyennes similaires

** Respectivement droite et gauche

† MTP : métatarsophalangienne