



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation  
Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

L'UTILISATION DE LA SLACKLINE DANS LA PRÉVENTION  
DES TROUBLES DE L'ÉQUILIBRE :  
UNE REVUE DE LA LITTÉRATURE

Laura SERBÉ

Mémoire UE28

Semestre 8

Année scolaire : 2019 - 2020

RÉGION DES PAYS DE LA LOIRE





**AVERTISSEMENT**

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.



## Remerciements

---

À mon directeur de mémoire pour m'avoir accompagnée et guidée dans l'élaboration de ce mémoire.

À la documentaliste de l'institut, pour son aide à l'obtention de références bibliographiques utiles à ce mémoire et pour avoir répondu à toutes mes questions.

À mes amis et plus particulièrement au groupe des 3LMSA pour leur présence durant ces quatre années d'études.

À ma mère et ma sœur, pour leur soutien depuis toujours.



## Résumé

---

**Introduction :** La stabilité posturale est nécessaire pour garantir la sécurité des activités liées à la mobilité dans la vie quotidienne. Le slacklining consiste à traverser une sangle tendue entre deux points fixes, sans perdre l'équilibre et sans poser le pied au sol.

L'objectif de cette revue est de déterminer en quoi le slacklining peut-il être un outil utilisé en Masso-Kinésithérapie de prévention des troubles de l'équilibre, sachant que c'est une pratique encore récente et peu étudiée.

**Matériel et méthode :** Une recherche systématique a été effectuée dans deux bases de données scientifiques (ScienceDirect, PubMed). Une évaluation méthodologique des articles inclus a été effectuée avec l'échelle Physiotherapy Evidence Database (PEDro) pour les essais contrôlés randomisés.

**Résultats :** Sur les 42 articles trouvés, 10 ont été inclus dans cette revue afin d'en réaliser une analyse qualitative. L'évaluation comprenait la performance de la tâche formée sur slackline et le transfert de tâche sur surface stable et instable. L'étude du centre de pression (CdP) et les tests de maintien de l'équilibre en position unipodale ou en tandem ont été utilisés. L'entraînement à la slackline semble induire des améliorations de l'équilibre spécifiques à la tâche formée, mais également des améliorations dans certaines tâches non entraînées.

**Conclusion :** Cette revue ne permet pas d'établir si les changements induits par l'entraînement à la slackline suffisent à produire un effet préventif pour les chutes et les blessures. Nous suggérons son utilisation uniquement lorsqu'il est intégré à un programme multimodal d'exercices d'équilibre.

## Mots clés

---

- Équilibre
- Prévention
- Slackline



## Abstract

---

**Background :** Postural stability is necessary to ensure the safety of related activities mobility in daily life. Slacklining consists of crossing a tensioned strap between two fixed points, without losing balance and without putting your foot on the ground.

The objective of this review is to determine how slacklining can be a tool in physiotherapy for the prevention of balance disorders, knowing that it is still a recent practice and little studied.

**Material & Method :** A systematic search was conducted in two database of scientific data (Sciencedirect, Pubmed). A methodological evaluation of the included articles was carried out using the Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale for randomized controlled tests.

**Results :** 10 of the 42 articles found were included in this review to achieve a qualitative analysis. The evaluation included the performance of the task formed on the slackline and the task transfer on stable and unstable surface. The Center of Pressure study (CoP) and the unipod or tandem balance tests were used. The slackline training seems to lead to balance improvements specific to the task being trained, but also improvements in some of the untrained tasks.

**Conclusion :** This review does not determine whether the changes induced by the slackline training are sufficient to produce a preventive effect for falls and injuries. Therefore, we suggest its use when it is integrated into a multimodal balance exercise program.

## Keywords :

---

- Balance
- Prevention
- Slackline



## Sommaire

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Cadre conceptuel .....</b>                                     | <b>2</b>  |
| 2.1      | L'équilibration.....  | 2         |
| 2.2      | La slackline .....  | 8         |
| 2.3      | Place du Masseur Kinésithérapeute .....                           | 18        |
| <b>3</b> | <b>Problématique et question de recherche .....</b>               | <b>21</b> |
| <b>4</b> | <b>Matériel et méthode.....</b>                                   | <b>22</b> |
| 4.1      | Choix de la méthode.....  | 22        |
| 4.2      | Critères PICO.....  | 22        |
| 4.3      | Les bases de données .....  | 23        |
| 4.4      | Mots clés et équations de recherche .....                         | 23        |
| 4.5      | Critères d'inclusion et d'exclusion.....                          | 24        |
| 4.6      | Outils d'extraction .....   | 25        |
| 4.7      | Sélection des publications .....                                  | 25        |
| 4.8      | Outils d'évaluation de la qualité méthodologique des études ..... | 26        |
| <b>5</b> | <b>Résultats.....</b>   | <b>27</b> |
| 5.1      | Evaluation méthodologique .....                                   | 27        |
| 5.2      | Caractéristiques des études .....                                 | 28        |
| 5.3      | Procédure des tests .....   | 33        |
| 5.4      | Synthèse des résultats.....                                       | 38        |
| <b>6</b> | <b>Discussion.....</b>  | <b>41</b> |
| 6.1      | Analyse qualitative des items retenus.....                        | 41        |
| 6.2      | Limites.....  | 48        |
| 6.3      | Effort perçu.....   | 51        |
| 6.4      | Perspectives cliniques Masso-kinésithérapiques .....              | 53        |
| <b>7</b> | <b>Conclusion .....</b>   | <b>55</b> |

### Références bibliographiques et autres sources

Annexes 1 à 3

I à III

Dossier d'annexes : Vidéos 1 à 5



## Mémoire UE28

---

### **1 Introduction**

Pratiquant le slacklining depuis deux ans, notre formation initiale en Masso-Kinésithérapie (MK) nous a naturellement amené à observer ce sport avec l'œil d'une future professionnelle de santé. Nous nous sommes demandé ce que cette pratique pourrait apporter à notre futur exercice professionnel. Ce questionnement nous a amené à effectuer des recherches sur ce sport jeune et peu connu, dans la littérature scientifique, populaire et sur internet. Nous avons constaté que la littérature était peu développée sur le sujet.

La réalisation de ce travail de fin d'études nous est apparue comme pouvant être l'opportunité idéale d'allier notre pratique sportive et notre future pratique professionnelle, dans le but d'amorcer un travail de recherche et de prévention sur ce sport.

Aux beaux jours, vous avez peut-être eu l'occasion d'apercevoir des personnes pratiquer la slackline, sur la plage, dans un parc ou même dans la rue. La slackline, qui signifie « corde lâche » en anglais, est une activité physique et sportive récente qui consiste à traverser une sangle tendue entre deux points fixes, sans perdre l'équilibre et sans poser le pied au sol (1). Cette pratique aurait été inventée par des grimpeurs au début des années 80 en Californie. Sa faculté à s'installer partout ou presque, et très rapidement, a participé à l'engouement qu'elle connaît depuis le début des années 2000.

Le but de ce mémoire est de déterminer en quoi le slacklining peut-il être un outil utilisé en Masso-Kinésithérapie de prévention des troubles de l'équilibre, sachant que c'est une pratique encore récente et peu étudiée.

Pour répondre à cet objectif, dans un premier temps un cadre conceptuel développe les facteurs et ressources qui conditionnent le maintien de l'équilibre afin de comprendre ce qui sous-tend cette fonction, en vue d'une motricité fonctionnelle durable et sans risque. Une partie est également dédiée à la présentation de la pratique du slacklining. Enfin, le rôle du masseur-kinésithérapeute dans le domaine de la prévention sera également abordé.

Dans un second temps, la démarche de recherche ainsi que les résultats obtenus et leur analyse seront exposés.

## **2 Cadre conceptuel**

### **2.1 L'équilibration**

#### **2.1.1 La posture humaine**

Le terme « posture », lorsque l'on parle d'un individu en position érigée, qualifie la position globale de l'ensemble des segments corporels superposés à partir du sol jusqu'à la tête (2). La stabilisation de ces modules entre eux sont permis grâce aux structures musculotendineuses, ligamentaires et le tonus musculaire de base. La fonction antigravitaire, une des fonctions principales de la posture humaine, permet le maintien de la position debout (3). Elle dépend d'une augmentation du tonus de certains groupes musculaires, comme les muscles extenseurs du tronc et des membres inférieurs (4). La deuxième fonction essentielle de la posture humaine est de permettre le positionnement et l'orientation du corps pour réaliser une activité en situation d'équilibre. Elle représente ainsi une des bases de l'organisation du mouvement. Cela lui donne un rôle d'interface avec le monde extérieur afin d'utiliser les informations de l'environnement qui nous entoure, ce qui prouve à quel point elle est importante (5).

#### **2.1.2 La biomécanique de la stabilité posturale**

La stabilité posturale est la capacité à maintenir la projection verticale du centre de masse (CdM) à l'intérieur du polygone de sustentation (6). Le CdM correspond au point imaginaire où toute la masse du corps pourrait être localisée (5). Quant au polygone de sustentation, c'est l'enveloppe contenant tous les points de contact entre le corps et le support (5).

Du point de vue de la biomécanique, le maintien de la stabilité dépend du contrôle de la position et de la vitesse du CdM. Les limites de stabilité sont définies comme l'espace au sein duquel la projection du CdM peut être maintenue sans que l'individu n'ait à modifier son polygone de sustentation.

Le corps est considéré comme stable lorsque le CdM se trouve au-dessus du polygone de sustentation avec une vitesse faible, tel qu'en position debout. Lors de la marche par exemple, le polygone de sustentation se modifie, et alors la projection du CdM peut se situer à

l'extérieur de celui-ci (7). La position et la vitesse du CdM sont contrôlées par le centre de pression (CdP). Le CdP est le « point qui représente l'origine de la résultante des forces de réaction du sol opposée aux forces produite par le contact d'un individu avec le sol » (5).

L'équilibre est un état, alors que la stabilité posturale est la capacité à le maintenir ou à le restaurer (8). Le contrôle postural est un système complexe qui met en interaction différentes sources d'informations et des stratégies motrices dans le but de réaliser une action en évitant la chute (5). Il est ainsi à la base de toutes nos activités motrices.

### **2.1.3 Rôles des organes sensoriels dans le contrôle postural**

Un contrôle postural efficient est permis par des conditions environnementales visuelles et gravitaires, mais également grâce à des informations issues du corps lui-même. Les stimuli sensoriels sont encodés par des récepteurs spécifiques, transmettant un signal électrique vers le système nerveux périphérique et central, où il est intégré et interprété (3). Ces stimuli sont issus de trois systèmes : le système vestibulaire, le système visuel et le système somatoproprioceptif.

- Le système vestibulaire

Le système vestibulaire est un système complexe jouant un rôle sensoriel, en contribuant à la perception des déplacements, ainsi qu'un rôle moteur pour la stabilisation du regard, de la tête et de la posture. Chez les humains, il réalise le codage du mouvement de la tête dans les trois plans de l'espace et participe ainsi au contrôle postural. Ces fonctions reposent sur sa capacité à percevoir les forces gravitationnelles et d'accélération grâce aux épithéliums neurosensoriels présents dans les organes otolithiques et les canaux semi-circulaires (9).

Les macules otolithiques sont les parties sensorielles de l'utricule et du saccule, qui codent les accélérations linéaires. Elles possèdent un épithélium neurosensoriel recouvert d'une masse gélatineuse qui correspond à la membrane otoconiale surmontée de cristaux de carbonate de calcium. Lors de variations linéaires de l'accélération, cette masse va défléchir les cils sensoriels englués à l'intérieur d'elle et engendrer la transduction neuro-sensorielle (9).

Les canaux semi-circulaires détectent les mouvements rotatoires de la tête et codent les accélérations angulaires. Dans chacun d'eux, au niveau de l'ampoule, se trouve une zone appelée « crête ampullaire » qui supporte les cellules sensorielles réceptrices. Lorsqu'une accélération angulaire se produit dans le plan de l'un des canaux, elle provoque un déplacement inertiel de l'endolymphe qui induit un cisaillement ciliaire à l'origine de la transduction neuro-sensorielle (9).

Le système vestibulaire permet également l'adaptation oculomotrice nécessaire à la stabilité du regard lors des mouvements. Les informations captées au niveau du labyrinthe sont ensuite relayées au niveau central afin de permettre de créer une perception consciente de la position et des mouvements du corps par rapport à l'environnement. Le système vestibulaire permet de créer trois réflexes compensateurs (10) :

- Le réflexe vestibulo-oculaire, qui permet de garder la position des yeux stable au cours des mouvements de la tête et du corps.
- Le réflexe vestibulo-spinal, qui consiste à ajuster le tonus musculaire entre les hémicorps en fonction de la position de la tête. Il aide à maintenir la position érigée par la contraction des muscles anti-gravitaires.
- Le réflexe vestibulo-vagal, qui adapte les fonctions végétatives aux changements de positions.

L'intégration de ces informations par les noyaux vestibulaires et le cervelet va permettre la régulation de la tonicité du cou et l'orientation de la tête par rapport au corps (9).

- Le système visuel

Les informations visuelles jouent elles aussi un rôle important dans le contrôle postural. Ceci est d'autant plus vrai chez le sujet âgé qui privilégie ce système sensoriel, au dépend de l'appareil vestibulaire et de la proprioception (5). La rétine, située dans le fond du globe oculaire, est composée de cellules sensorielles photosensibles. Grâce aux voies optiques cérébrales, elle informe en permanence le système nerveux central concernant la position et le mouvement du corps, ainsi que les repères de verticalité du monde extérieur. Les informations issues de la fovéa constituent la vision centrale, qui sert à la reconnaissance d'éléments visuels, par exemple, les obstacles à éviter, la surface d'appui, la texture du sol.

La vision périphérique issue du reste de la rétine est moins précise mais permet de percevoir plus précocement les variations de l'environnement (5). Les deux types de visions peuvent être utilisés simultanément. Les informations proprioceptives des muscles oculomoteurs servent à stabiliser le regard lors des mouvements par le biais des noyaux vestibulaires et du cervelet.

- Le système somatoproprioceptif

Le système somatoproprioceptif, ou somatosensoriel, regroupe l'ensemble des voies sensorielles issues des différents « propriocepteurs » présents dans l'ensemble des segments (5). Il renseigne sur la position et les mouvements des différents segments du corps les uns par rapport aux autres (10).

**Les récepteurs cutanés**, situés dans l'épiderme et le derme, sont sensibles à l'étirement et à la pression sur la peau. Leur densité varie selon le territoire. Ils sont notamment responsables de la représentation des forces d'appui, en particulier à la plante des pieds. Les disques de Merkel : situés à la base de l'épiderme, sont des mécanorécepteurs sensibles à la pression légère. Les corpuscules de Meissner : sont aussi des mécanorécepteurs sensibles à la pression légère, et aux vibrations de basse fréquence. Ils participent au toucher discriminant.

**Les récepteurs tendineux**, ou organes tendineux de Golgi, sont situés à l'extrémité de la fibre musculaire, à la jonction musculo-tendineuse. Lors de l'activation des fibres musculaires, ou lors de leur étirement passif, ils codent la tension du tendon et donc du muscle.

**Les récepteurs articulaires** sont sensibles à la position ou au déplacement des articulations. Deux types de mécanorécepteurs existent : les corpuscules de Pacini sensibles à la pression intense et aux vibrations de hautes fréquences et les corpuscules de Ruffini sensibles aux pressions intenses et à l'étirement. Ils sont situés dans les capsules articulaires.

**Les récepteurs musculaires**, ou récepteurs fusoriaux, sont disposés en parallèle des fibres musculaires, à l'intérieur même du muscle. Ils sont sensibles aux variations de longueur du muscle et jouent un rôle primordial dans le réflexe myotatique. Ils informent sur l'étirement du muscle grâce à des fibres dynamiques et des fibres statiques.

#### 2.1.4 Intégration et contrôle central

Les informations issues de ces différents récepteurs sensoriels convergent vers les structures centrales sous-corticales et corticales. Parmi-elles, le complexe nucléaire vestibulaire joue un rôle important du fait de ces afférences labyrinthiques, visuelles et spinales (10). L'ensemble des entrées sensorielles détermine son activité, qui est ensuite contrôlée par les structures sus-jacentes (cervelet, noyaux gris, colliculus, thalamus et cortex cérébral).

Le cervelet tient lui aussi une place cruciale dans le contrôle de l'équilibration, en raison de ses connexions à la fois efférentes et afférentes avec le complexe nucléaire vestibulaire. Le cervelet vestibulaire, ou archécervelet, a un rôle important en intervenant dans la régulation du réflexe vestibulo-oculaire au cours des mouvements (10). Le cervelet spinal, ou palécervelet, a un rôle spécifique dans la régulation de la posture en ajustant la coordination temporelle agoniste-antagoniste.

D'autres structures de contrôle, comme le noyau rouge et la substance réticulée, ont elles aussi une implication dans la régulation de la posture (10).

Il en résulte un réseau d'intégration complexe qui détermine la nécessité d'une intégration multisensorielle. En effet, au niveau cortical, il existe une facilitation des informations afférentes les plus adaptées au contrôle de la situation. C'est la pondération sensorielle. Elle varie d'une situation à une autre et permet que chaque information ne soit pas prise en compte dans les mêmes proportions. Par exemple, sur une surface instable, la proprioception est moins utilisée que la vision et le système proprioceptif (5). Elle varie également d'un individu à un autre, et est appelée « l'information sensorielle de surveillance » (5). Par exemple, les individus qualifiés de « non visuodépendants » sont moins sensibles au feedback visuel. Ils montrent peu de détérioration de la posture les yeux fermés par rapport à la même situation les yeux ouverts.

La pondération sensorielle détermine les choix stratégiques de l'organisation de la motricité réactive et adaptative. Ils dépendent du vécu antérieur de chaque individu et des effets d'apprentissage (5).

### 2.1.5 Réponses motrices et effecteurs

Le traitement central des informations sensorielles possède un double aboutissement : le maintien de la posture et la stabilité du regard. Le contrôle de la stabilisation du regard est permis par les réflexes vestibulo-oculaires et visuo-oculaires. Le maintien de la posture est assuré par la contraction des muscles antigravitaires permettant de garder l'équilibre, ainsi que par les réflexes vestibulo-spinal, vestibulo-oculo-cervical, et leur contrôle sur le réflexe myotatique (10).

Lors d'une déstabilisation, des synergies musculaires permettent une réorganisation posturale. Ce sont des ajustements posturaux réactionnels. Ils sont à latence moyenne ou longue car ils impliquent plus ou moins un contrôle volontaire cortical, contrairement au réflexe myotatique organisé par des circuits courts au niveau spinal. Ils sont initiés au niveau du tronc cérébral et ajustés au niveau du cortex cérébral. Il existe trois stratégies correctrices principales, associées à un degré croissant de correction : stratégie de cheville, stratégie de hanche et initiation du pas (Figure 1). Si les ajustements posturaux ne sont pas suffisants, il peut être nécessaire de modifier le polygone de sustentation (5).

Le lien entre l'importance de la déstabilisation et la stratégie de correction mise en place peut varier en fonction de l'âge ou de l'objectif du mouvement. Par exemple, les personnes âgées vont davantage utiliser les mouvements des bras ou réaliser plusieurs petits pas pour contrôler leur CdM (11).

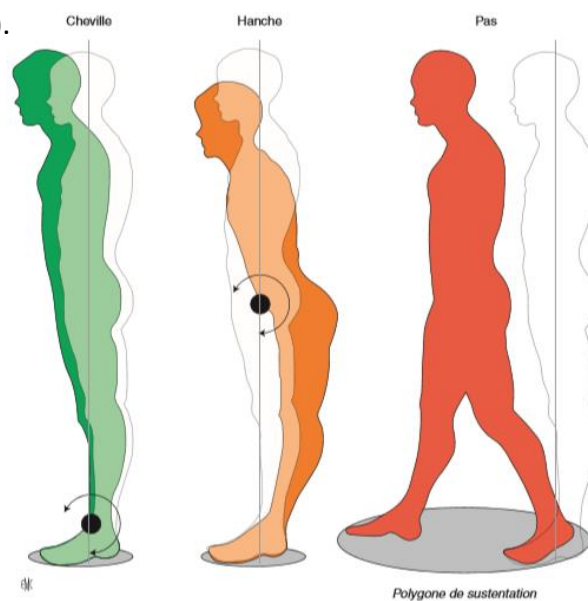


Figure 1 : schéma des trois stratégies motrices (5)

Lorsque la perturbation est prévisible, des ajustements posturaux anticipés peuvent permettre de limiter ses effets déstabilisants. Ils surviennent 100 à 150 ms avant le mouvement, ou la perturbation prévisible, et visent à réduire les déplacements du CdM par rapport au support. Au début des ajustements posturaux, une activation corticale du cortex sensori-moteur et de l'aire motrice supplémentaire est observée. Puis les ganglions de la base collaborent à la mise en place rapide des synergies musculaires adéquates pendant la phase de déstabilisation. Dans le cas d'une situation déjà vécue par le sujet, le cervelet nuance l'ampleur de la réaction posturale en fonction de la perturbation envisagée (5).

En conclusion, la fonction d'équilibration représente un système complexe, qui est le résultat d'intégrations multisensorielles et d'interactions avec les fonctions cognitives et des facteurs psychologiques ou émotionnelles (5). L'altération d'un de ces facteurs est à l'origine de déficits posturaux, que le sujet devra compenser ou auxquels il devra s'adapter pour réaliser ses activités quotidiennes.

## **2.2 La slackline**

### **2.2.1 Définition**

La slackline, traduit de l'anglais « corde lâche » ou « corde molle », est une activité physique et sportive récente (12). Pouvant être assimilée au funambulisme, elle s'en distingue cependant par le fait qu'elle nécessite une sangle élastique, en lieu et place d'un câble d'acier statique et du port bimanuel d'un balancier (13).

Elle consiste à traverser une sangle tendue entre deux points fixes, sans perdre l'équilibre et sans poser le pied au sol (1). La longueur et la hauteur de la sangle peuvent varier, ainsi que sa tension, ce qui lui donne plus ou moins d'élasticité. « Slacklineur » et « slacker » sont deux appellations communément admises pour désigner le pratiquant de slacklining.

### **2.2.2 Historique**

Au cours des siècles, les humains ont cherché à tenir en équilibre sur toutes sortes de choses, principalement sur des câbles statiques, des cordes ou des poutres. Dans la vallée du Yosemite en Californie, lorsque la météo ne permettait pas l'escalade, les grimpeurs s'entraînaient à marcher sur tous les supports à leur disposition : chaîne, câble, corde, barrière.

L'origine de ce sport est discutée, mais il serait apparu comme une activité indépendante sur les sangles extensibles au début des années 80. Deux grimpeurs, Adam Grosowsky et Jeff Ellington auraient été les premiers à avoir eu l'idée d'utiliser leur équipement d'escalade pour s'équilibrer et ont introduit la slackline dans les camps de grimpeurs de la vallée (14). La sangle est sans doute apparue plus confortable pour leurs pieds nus, leur offrant une meilleure sensation.

En 1982, un film documentaire français (« La Vie au bout des doigts » réalisé par Jean-Paul Janssen) (15) met en scène Patrick Edlinger qui vit de sa passion ; l'escalade. Il est possible de le voir utiliser une corde tendue entre deux arbres lors de son entraînement physique. Cette brève apparition montre que la naissance de la slackline ne peut pas être définie de manière précise, et ne peut pas être attribuée à une seule personne.

De là, cette pratique s'est lentement propagée jusqu'à ce que la tendance de la slackline prenne son envol dans les années 2000. La popularisation de cette pratique a notamment été aidée par le développement d'internet, des forums et des réseaux sociaux, où la publication de vidéos et les échanges de conseils attisaient la curiosité. Le progrès technique et le développement de fabricants spécialisés dans les slacklines et le matériel associé (exemples : Slack.fr en 2006, Gibbon en 2007) a également participé à cet essor en introduisant des kits de slackline simples, accessibles à tous.

Depuis le début des années 2010, la slackline devient connue du grand-public, notamment grâce au spectacle de la mi-temps du Super Bowl en 2012. Il est désormais possible de se procurer une slackline dans n'importe quel magasin de sport. Face à la multiplication de groupes de pratiquants dans le monde entier, la pratique s'est structurée autour d'associations. Des compétitions ont vu le jour devant le désir croissant de découvrir cette activité « tendance » et de se perfectionner. En août 2015, une fédération internationale a été fondée par des slacklineurs du monde entier. L'International Slackline Association (ISA) rassemble 13 fédérations nationales, et de nombreux clubs de slackline régionaux et locaux. Elle développe des événements en relation avec des partenaires qui sont des entités commerciales, telles que les fabricants de matériels, les organisateurs d'événements, de concours, ou les prestataires de formation.

### 2.2.3 Matériel

La pratique de la slackline demande peu d'équipement. La sangle en est l'élément principal, mais de nombreux types existent (Figure 2) (16). Selon les dimensions, la matière et le type de tressage utilisé, les propriétés de la sangle peuvent varier. Les sangles sont fabriquées en majorité en polyester avec une largeur de 25 ou 50 mm. Elles peuvent être soit plates, soit tubulaires.

Les points d'ancrage sont variés, tels que des arbres, du mobilier urbain, des points d'ancrage d'escalade, et même entre les berges d'une falaise ou toute autre architecture naturelle le permettant. Il faut cependant veiller à ce que ces deux points fixes soient suffisamment solides pour supporter la tension et ainsi permettre une pratique sécurisée.

Pour ne pas réduire la résistance à la rupture de la sangle, il est déconseillé de la bloquer par un système de nœuds. Différents mécanismes de blocage de sangle ont été conçus. Le premier est le *linelock*, composé d'un maillon métallique associé à un nœud simple. Le second est le *banana* (Figure 3) (17), qui bloque la sangle dans un sens, mais permet d'ajuster sa longueur dans l'autre sens. Le dernier est le *line-grip*, composé de mâchoires. Cette facilitation permet la pratique en milieu naturel, urbain ou en intérieur.

Pour les pratiques les plus extrêmes (comme en longline et jumpline), des systèmes de tension sont nécessaires. Ils en existent différents : le système de cliquet, le mouflage autobloquant (Figure 4) (18), le mouflage de corde. Le choix du dispositif utilisé se fait en fonction de la discipline exercée et de la longueur de sangle utilisée.



Figure 2 : Photo de différentes sangles de slackline de la marque Delevoye® (16)

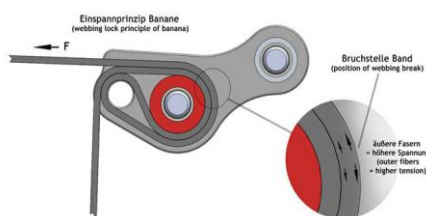


Figure 3 : Schéma de fonctionnement d'un système de blocage de sangle de type *banana* (17)



Figure 4 : Photo d'un système de mouflage de la marque Slack Innov® (18)

Il est possible de trouver dans le commerce des nouveaux outils appelés slackrack (Figure 5 et Figure 6) (19). Ils ont l'avantage d'avoir un montage facile et rapide, et de ne pas nécessiter de fixation. Il est possible de les déplacer facilement pour une utilisation en intérieur ou en extérieur. La faible hauteur de la sangle propose une utilisation sécurisée.



Figure 5 : Photo d'un slackrack de la marque Gibbon® (19)



Figure 6 : Photo d'un slackrack de la marque Playzone fit® (19)

#### 2.2.4 Pratiques

L'engouement pour cette pratique repose sur sa faculté à s'installer partout ou presque, et très rapidement. Cette polyvalence a joué un rôle significatif dans l'essor de la slackline, encourageant le slackeur à adapter la discipline selon ses préférences et l'environnement disponible. Différentes pratiques sont connues (20) :

- Shortline : terme utilisé pour définir la pratique la plus simple et la plus connue du grand public. Elle consiste à évoluer en équilibre sur une sangle de 5 cm de large, sur une longueur limitée (inférieure à 15 mètres), et souvent près du sol (de 30 à 60 cm environ). Cette pratique est adaptée aux débutants.
- Longline : traversée sur des distances de plus en plus importantes.
- Highline : sangle située à plusieurs mètres de hauteur. La traversée nécessite d'être assurée : baudrier d'escalade, corde de sécurité, anneaux d'assurage.
- Waterline : sangle tendue au-dessus de l'eau : bassin, lac, ou mer par exemple.
- Jumpline ou trickline : réalisation de figures ou de sauts acrobatiques sur la sangle en utilisant son rebond.
- Spaceline : obtenue par la connexion de plusieurs slacklines, allant de 3 jusqu'à 10, afin de former un réseau.

À titre anecdotique, ces pratiques ont fait l'objet de records mondiaux. Le record du monde de slakline en zone urbaine est détenu par Nathan Paulin depuis décembre 2017 (21). À l'occasion du Téléthon, il est descendu sur 670 mètres de slackline depuis le 1<sup>er</sup> étage de la Tour Eiffel.

### 2.2.5 Mécanismes qui sous-tendent cette pratique

Lors de l'équilibration sur une corde plutôt que sur un substrat rigide, la dynamique neuromécanique du corps est couplée à la dynamique externe de la corde qui se déplace elle-même en réponse au balancement du corps. Pour comprendre comment l'équilibre pourrait être atteint dans ce système, Paoletti et Mahadevan (22) ont démontré par les mathématiques qu'il existait un « modèle de contrôle optimal » permettant d'améliorer le contrôle postural lorsque le sujet savait pratiquer ce sport et qu'il avait les retours neurobiologiques adéquats (Figure 7). Leurs analyses montraient également qu'il existe une zone où l'affaissement du câble permet de maintenir son équilibre avec un effort énergétique minimal. Cependant, ils considéraient uniquement le mouvement latéral du sujet, sans tenir compte du mouvement vertical de ce dernier.

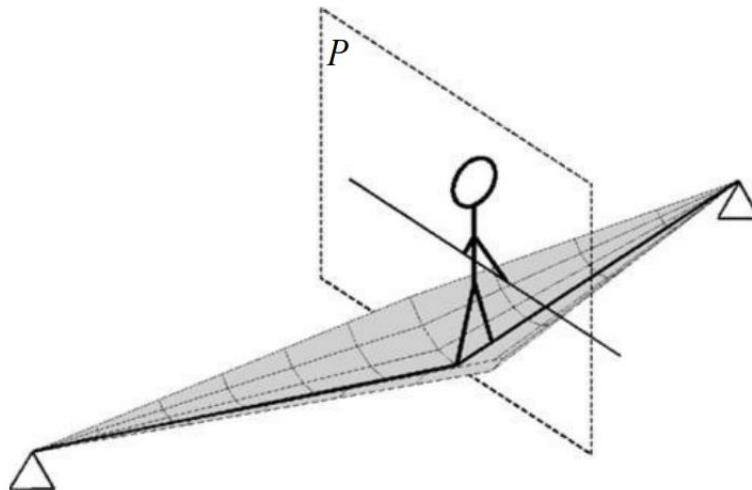


Figure 7 : Schéma d'un sujet en équilibre sur une corde (22)

Hüfner et al. (23) ont montré que la structure de l'hippocampe était différente chez les slackliners et les danseurs expérimentés par rapport à un groupe contrôle de sujets pratiquants des sports différents. L'encéphale dont la formation hippocampique (FH), c'est-à-dire l'hippocampe et le parahippocampe, a été étudié grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Leurs résultats ont montré que les sujets entraînés avaient des volumes de matière grise significativement plus petits dans la FH antérieure et le cortex insulaire, mais des volumes plus importants dans la FH postérieure et les zones du cortex visuel. Il n'y avait aucune différence dans la mémoire générale ou dans la mémoire spatiale évaluée. Les auteurs ont émis l'hypothèse que ces modifications de volumes présents chez les sujets expérimentés pouvaient être le résultat d'une réduction de l'entrée potentiellement désavantageuse du système vestibulaire et d'une utilisation accrue d'indices visuels d'équilibre. Ceci est soutenu par la perte de volume associée dans le cortex vestibulaire pariéto-insulaire et par les volumes plus importants concomitants dans les zones visuelles comme le gyri lingual et fusiforme.

Mildren et al. (24) ont exploré l'apprentissage moteur mis en jeu lors de l'apprentissage de la position en tandem et à une jambe sur une slackline. Un enregistrement de la cinématique des bras, du tronc, de la cuisse et du pied unilatéralement, tandis que les participants s'équilibraient en tandem et en position de jambe unique sur une slackline ou sur une poutre rigide étroite. Cet enregistrement a été répété à quatre moments différents : avant la première séance, après une séance d'essais de slackline, après une semaine d'entraînement et une semaine après la dernière séance d'entraînement. Les auteurs ont observé que l'amélioration de la performance entraînée s'accompagnait de la diminution des oscillations du pied et du tronc et de l'élaboration de schémas de mouvements coordonnés mettant progressivement l'accent sur les segments plus distaux du haut du corps (hanche et épaules vers coudes). Ces modèles de mouvements ont été conservés pendant une semaine et observés lors de la tâche de transfert sur poutre rigide, ce qui suggérait un apprentissage moteur généralisé. De plus, les auteurs indiquent que lors des premiers essais des sujets, il était possible d'observer une oscillation caractéristique de 4 Hertz dans le pied stabilisateur lors de la posture sur une jambe. L'atténuation de ces oscillations s'est accompagnée d'une augmentation de la performance de maintien sur une jambe.

Les auteurs ont fait la supposition que cette oscillation de 4 Hertz est un tremblement résultant d'une erreur de rétroaction, c'est-à-dire d'une discordance entre les informations sensorielles et les commandes motrices. D'autres études ont observé ces mêmes oscillations et les ont attribuées à un réflexe proprioceptif trop élevé qui génère une série d'oscillations induites par le réflexe d'étirement (25).

Par le passé, un ensemble de preuves a suggéré que l'entraînement traditionnel à l'équilibre entraînait une réduction des réflexes de Hoffmann (réflexe-H) (26–28). Des adaptations similaires ont été retrouvées chez les jeunes adultes après plusieurs semaines d'entraînement à l'équilibre sur slackline (29). En effet, Keller et al. ont observé que quatre semaines d'entraînement à la slackline permettaient une amélioration du contrôle postural accompagnée d'une réduction du réflexe-H. Ils ont relevé que les adaptations posturales présentes étaient plus prononcées dans les tâches d'équilibre étroitement liées à la tâche d'entraînement. Ils ont fait la supposition que cette réduction de ce mécanisme de réflexe vertébral pouvait servir à inhiber les oscillations articulaires indésirables, responsables d'un mouvement incontrôlable sur la slackline. En effet, ils ont souligné que lorsque les sujets faisaient leurs premières tentatives de slackline, la jambe et la corde se balançaient de manière incontrôlable (cf Dossier d'Annexes : Vidéo 1) et une assistance était presque toujours nécessaire. À la fin de la période d'entraînement ces oscillations n'étaient plus présentes (cf Dossier d'Annexes : Vidéo 2).

Cette réduction de l'excitabilité des circuits réflexes spinaux (29), en relation avec l'augmentation de la capacité d'équilibre sur slackline, était également accompagnée par un changement du schéma de coordination de l'équilibre sur la slackline. En effet, Serrien et al (30) ont utilisé une carte auto-organisatrice, ou cartes de Kohonen, en anglais « self organizing maps », un type de réseau de neurones artificiels. À partir d'elle, ils avaient pour but d'extraire et de visualiser les informations sur les stratégies d'équilibre avant et après une intervention d'entraînement de 6 semaines sur la slackline, soit neuf séances de 30 minutes. Utilisant cette approche cartographique auto-organisée pour analyser les données cinématiques du tronc et de la jambe d'appui chez des adultes en bonne santé, ils ont rapporté une augmentation du contrôle postural dans la tâche pour laquelle les individus avaient été formés. Celle-ci était accompagnée d'une augmentation de l'amplitude des mouvements des articulations du tronc,

du bassin et des membres inférieurs, ainsi qu'une diminution de leur vitesse et de leur fréquence. Cependant, le changement observé dans le schéma de coordination de l'équilibre sur la slackline n'a pas été trouvé dans une autre situation d'équilibre non entraînée, comme la tâche d'équilibre unipodal sur poutre rigide. Ceci reste en accord avec le principe de spécificité de tâche (31). C'est-à-dire que l'entraînement d'une certaine tâche d'équilibre entraîne une amélioration de la performance à cette tâche, mais que cette amélioration ne se généralise pas à des tâches similaires non entraînées.

Récemment, Giboin et al. (32) ont utilisé la combinaison de techniques d'imagerie (IRM fonctionnelle) et des méthodes électrophysiologiques (électromyographie et mesure du réflexe-H) pour analyser les modifications de la connectivité entre les différentes structures cérébrales au repos ainsi que les modifications de l'excitabilité de la colonne vertébrale pendant l'exécution d'une tâche d'équilibre entraînée et non entraînée. Six semaines d'entraînement à la slackline chez des sujets sains ont permis d'accroître la connectivité fonctionnelle dans diverses structures cérébrales corticales et sous-corticales. Au niveau cortical, les cortex prémoteur, moteur primaire et somatosensoriel ont montré une augmentation de la connectivité induite par l'entraînement. Le cervelet montrait également une augmentation de la connectivité, ainsi que l'insula, les zones de la corticale pariétale et le thalamus. Au niveau sous-cortical, des structures telles que l'amygdale droite, l'hippocampe, le tronc cérébral et les noyaux gris centraux montraient également une augmentation de connectivité. Ces structures cérébrales semblent liées à la planification, à la préparation, à l'exécution, à l'évaluation et à la gestion des mouvements, et probablement à l'apprentissage moteur. Cette connectivité neurale accrue a été associée à des améliorations de performance dans la tâche d'équilibre formée, mais pas dans la tâche d'équilibre non formée. Les auteurs ont observé une diminution de l'amplitude du réflexe-H pendant l'exécution de la tâche formée, mais il n'était pas réduit pendant l'exécution de la tâche non formée. Ces résultats suggèrent que les changements neuronaux induits par l'entraînement et conduisant à une meilleure performance sur la slackline ne sont pas utilisés lors de l'exécution de tâches non entraînées. Ces résultats soutiennent fortement le concept selon lequel l'équilibre doit être considéré comme une somme de compétences spécifiques et non comme une aptitude générale (33).

### 2.2.6 La slackline dans un contexte de rééducation

La littérature concernant l'utilisation de l'entraînement à la slackline en rééducation est pauvre. À notre connaissance, trois études ont utilisé l'entraînement à la slackline pour des sujets pathologiques.

Gabel et Mendoza (34) ont proposé deux études de cas dans lesquelles l'entraînement de slackline a été intégré à un programme de rééducation mené en Australie. Le premier cas concernait un surfeur d'élite de 17 ans souffrant d'une entorse du ligament talofibulaire antérieur. Les auteurs la qualifient arbitrairement de grade 2. Le second cas concernait un joueur de football récréatif de 23 ans souffrant de douleurs non spécifiques au genou et d'hypermobilité. Les auteurs proposent un protocole de 4 stades, comprenant 20 étapes, pour la progression de la formation à la slackline dans un cadre clinique. Nous fournissons une traduction de ce protocole (Annexe 1 : Tableau III). Selon les dires des auteurs, les patients auraient estimé que la pratique de la slackline aurait accéléré le processus de rééducation. Ils ont estimé que le slacklining était une activité de réadaptation qui avait l'avantage d'être efficace, à faible risque, amusante, stimulante et motivante. Ils ont continué à pratiquer des activités de slacklining pour s'entraîner et se divertir. Les auteurs concluent que le protocole de progression s'est avéré efficace et que le slacklining représente une nouvelle méthode de réadaptation pouvant être facilement intégrée dans les programmes existants. Cependant, les études de série de cas représentent le plus bas niveau de preuve scientifique selon la gradation de l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé (ANAES) (35). Cette étude concerne seulement deux cas isolés et ne s'appuie sur aucune donnée scientifique. De plus, aucun test n'est utilisé, ni aucune statistique pour objectiver les résultats. Cette étude peut représenter un exemple de prise en charge MK avec slackline, mais nous ne devons pas négliger notre sens critique.

Galet et al. (36) ont réalisé une étude transversale d'observation comprenant 49 participants âgés de 13 à 72 ans ( $41,8 \pm 16,8$ , dont 57 % de femmes), recrutés dans un établissement de rééducation en consultation externe. Pour être inclus dans l'essai, les participants devaient avoir subi une blessure au genou datant de moins de deux semaines. Dans cette population, 18 affections différentes ont été présentées.

Elles comprenaient les lésions des tissus mous, les affections pré et post-opératoires, la dégénérescence et la surutilisation. Les participants ont été évalués pour l'activation des quadriceps par électromyographie (EMG) cutanée au cours de cinq exercices cliniques distincts d'activation des quadriceps. Ces exercices comprenaient deux exercices en chaîne ouverte, deux exercices en chaîne fermée, et un exercice en chaîne composite sur la slackline. La mesure des résultats était la note médiane à l'EMG, mesurée en microvolts. Les résultats montrent que l'activation des quadriceps pour l'activité de la slackline était plus élevée que celle des quatre autres exercices. Il n'existe pas de différence significative entre ces derniers. Au contraire, l'effort perçu mesuré sur une échelle d'évaluation numérique de 11 points (0 = aucun effort perçu et 10 = effort perçu maximal) a révélé que pendant l'activité de la chaîne cinétique ouverte et fermée il était équivalent, tandis que pendant l'activité de la slackline il était significativement inférieur à l'une ou l'autre des deux premières mesures. Cette étude laisse supposer que lors de la rééducation du genou en phase aiguë, le slacklining permettrait d'atteindre un niveau d'activation du quadriceps statistiquement plus élevé que les exercices traditionnels à chaîne ouverte et fermée. De plus, ce niveau d'activation serait atteint par l'individu blessé à un niveau d'effort perçu plus faible. Cependant cette étude présente des limites car elle n'a pas fait la distinction entre les différentes pathologies présentées par les participants. Elle a pourtant considéré le groupe comme homogène. De plus, l'EMG de surface est un outil clinique qui reste moins précis que d'autres techniques méthodologiques comme l'implantation intramusculaire. Les auteurs déclarent que le slacklining pourrait représenter un exercice utile dans un programme de rééducation lorsque les quadriceps sont inhibés et lorsqu'une activation de ceux-ci est nécessaire.

Santos et al. (37) ont mené une étude sur des patients atteints de la maladie de Parkinson. Ils ont montré les paramètres du centre de pression n'ont pas changé après 6 semaines d'entraînement supervisé sur la slackline. Néanmoins, les scores obtenus au questionnaire de freezing (« Freezing of Gait » ou FOG-Q) et au test de Tinetti (« Falls Efficacy Scale » ou FES) ont changé de façon significative après l'intervention. Ces résultats étaient significatifs du point de vue clinique : la différence avant et après était de 1 point pour FOG-Q et de 4,90 points pour FES. La mesure de l'effort perçu évaluée grâce à l'échelle Borg (38), a révélé que le programme de formation avait été qualifié de " très facile " par les participants.

Les muscles gastrocnémiens, ischio-jambiers, quadriceps, érecteurs du rachis et tibial antérieur étaient ceux pour lesquels l'effort perçu était le plus important sur l'échelle de Borg modifiée (« Local muscle Rating of Perceived Exertion » ou LRPE). Ces résultats suggèrent que la slackline peut représenter un outil de réadaptation simple, sécurisé et dynamisant pour les patients atteints de la maladie de Parkinson. Elle pourrait être adoptée dans une routine d'activité physique pour réduire le risque de chutes et diminuer la peur de chuter.

Cette étude a été incluse dans une méta-analyse récente (39) qui avait pour but d'évaluer les preuves des interventions physiques pour les troubles de la marche et de la motricité afin d'établir des recommandations pour la pratique clinique. Les auteurs ont classé les études de I à IV selon les critères de qualité de la Fédération Européenne des sociétés de neurologie (« European Federation of Neurological Societies » ou EFNS) puis déterminé leur niveau de recommandation clinique. Ils concluent que cette intervention est classée II et qu'il existe un niveau de preuve B pour la recommander. La classification II signifie que l'étude est « un essai randomisé contrôlé par placebo, réalisé avec un échantillon de petite taille ( $n \geq 10$ , mais  $< 25$ ) ou qu'au moins un des critères énumérés ci-dessus est manquant » (39). Le niveau de preuve B signifie que « l'évaluation (probablement efficace, inefficace ou nuisible) nécessite au moins une étude convaincante de classe II ou des preuves importantes de classe III » (39).

## **2.3 Place du Masseur Kinésithérapeute**

### **2.3.1 Contexte**

Un contrôle postural adéquat est nécessaire non seulement pour maintenir la stabilité posturale, mais également pour garantir la sécurité des activités liées à la mobilité dans la vie quotidienne.

Les troubles de l'équilibre sont une plainte fréquente, retrouvée dans diverses affections. Ils peuvent même exister en dehors de toute pathologie identifiable. Dans le cas d'un vieillissement physiologique, l'ensemble des systèmes sensoriels et moteurs se dégrade à partir de 60 ans (40). Cela a des conséquences sur le contrôle postural et peut entraîner des troubles de la marche ou de l'équilibre. Ces derniers ont des répercussions à l'échelle individuelle avec une réduction de la mobilité et des capacités physiques (41).

Chez les personnes âgées présentant des troubles de l'équilibre, la peur de tomber est fréquente. Cette peur entraîne un impact psychologique qui peut mener à une perte de confiance en soi et à de l'anxiété. Elle peut mener à une restriction volontaire des activités et entraîner un déconditionnement des capacités physiques (Figure 8). La désadaptation psychomotrice augmente le risque de chute (41).

La dégradation des systèmes sensoriels et moteurs lors du vieillissement physiologique mène, pour un adulte sur trois de plus de 65 ans, à une chute (42). C'est à l'origine d'un véritable problème de santé publique dans toutes les sociétés modernes, notamment en raison du vieillissement général de la population (5). Les chutes ont des conséquences à l'échelle socio-économique. Sachant qu'environ 20 % des chutes des personnes âgées seraient suivies d'une intervention médicale (41), cela représente un coût financier important pour les sociétés. Dans les pays européens, environ 1,5% des dépenses de santé découlent des chutes (43).

Lorsque les chutes sont responsables de fracture, elles entraînent indirectement une augmentation du risque de décès dans les mois qui suivent (41).

Selon la HAS, le risque de chute chez la personne âgée offre tous les critères de référence pour une action de prévention systématique : forte prévalence, mesures de prévention possibles, et forte morbi-mortalité (41).

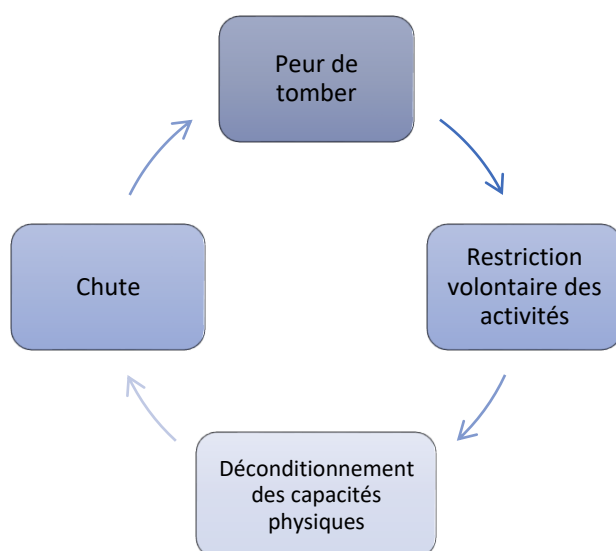


Figure 8 : Schéma de la boucle de désadaptation psychomotrice (41)

De plus, un contrôle postural efficace est nécessaire pour garantir la sécurité des activités de la vie quotidienne, en particulier lors de la pratique sportive. Il est considérés comme essentiels dans le sport pour prévenir les blessures et exceller en compétition (44). La pratique d'activité physique et sportive apporte des bienfaits sur le bien-être physique et mental. Mais elle est accompagnée de blessures sportives qui deviennent donc une préoccupation de santé publique importante. Selon l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), les accidents de sport représentent à eux seuls près de 20 % des accidents de la vie courante. Selon l'Enquête Permanente sur les Accidents de la vie Courante (EPAC), les accidents liés aux activités sportives entraîneraient plus de 900 000 recours aux urgences chaque année, dont 7% seraient hospitalisés (45). Outre les conséquences sur la santé ou les répercussions sur la vie de chaque accidenté, le poids économique pour le système public de soins en santé est lourd (46). Celui-ci reste difficilement chiffrable car en France, comme à l'étranger, les données sont peu nombreuses (46).

### **2.3.2 L'équilibre en Masso-Kinésithérapie**

Selon les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS), une prise en charge masso-kinésithérapique est préconisée en cas de trouble de la marche ou de l'équilibre (47). La prise en charge du kinésithérapeute inclut le travail de l'équilibre postural statique et dynamique, ainsi que le renforcement de la force et de la puissance musculaire des membres inférieurs.

De plus, l'étiologie des blessures sportives est multifactorielle et comprend des facteurs de risques extrinsèques, environnementaux, et/ou des facteurs de risques intrinsèques, liés au sujet (48). Deux facteurs de risques intrinsèques importants sont les déficits de contrôle postural et la faiblesse musculaire (49). McGuine et ses collaborateurs (50) ont montré que les entorses de cheville sont presque 7 fois plus fréquentes chez les joueurs de basket-ball ayant un mauvais équilibre que chez ceux ayant un bon équilibre. Par conséquent, les programmes d'exercices de prévention des blessures pourraient se concentrer sur la promotion de l'équilibre et de la force afin de réduire le taux de blessures sportives. L'entraînement à l'équilibre est considéré comme une intervention efficace pour améliorer l'oscillation posturale statique et l'équilibre dynamique chez les athlètes et les non athlètes (51).

### **2.3.3 La prévention en Masso-Kinésithérapie**

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé en 1948, la prévention représente « l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps » (52). Elle comprend la prévention primaire, secondaire et tertiaire. La prévention primaire vise à diminuer l'incidence d'une pathologie dans une population. Elle comprend l'ensemble des actes réalisés en amont de la maladie. La prévention secondaire vise à diminuer la prévalence d'une maladie dans une population. Elle cherche à éviter son évolution et limiter les facteurs de risque, par exemple par le dépistage. Enfin, la prévention tertiaire est destinée à faire diminuer les complications, les séquelles de la pathologie et les risques de récives.

Le masseur-kinésithérapeute occupe une place de choix en matière de prévention. Ce rôle préventif est défini dans le décret de compétences masso-kinésithérapique (53). En effet, l'article n°1 de ce décret stipule que « La masso-kinésithérapie consiste en des actes [...] qui ont pour but de prévenir l'altération des capacités fonctionnelles ».

De plus, l'article n°4 définit la gymnastique médicale comme « la réalisation et la surveillance des actes à visée de rééducation neuromusculaire, corrective ou compensatrice, effectués dans un but thérapeutique ou préventif afin d'éviter la survenue ou l'aggravation d'une affection. »

Et enfin l'article n°13 précise que « le masseur-kinésithérapeute participe à différentes actions d'éducation, de prévention, de dépistage, de formation et d'encadrement [...] : e) La pratique de la gymnastique hygiénique, d'entretien ou préventive. »

## **3 Problématique et question de recherche**

L'entraînement à l'équilibre semble être une intervention adéquate pour améliorer le contrôle postural afin de prévenir des blessures chez les athlètes (51) et de prévenir les chutes chez les personnes âgées (54). Cependant, les avantages acquis avec l'entraînement en équilibre nécessitent des doses d'entraînement suffisantes (51,55). On peut supposer que pour assurer une adhésion et un volume de formation adéquats, l'utilisation d'une pratique sportive dont la popularité augmente pourrait représenter une opportunité.

Ce travail vise à répondre à la problématique suivante : En quoi le slacklining peut-il être un outil utilisé en Masso-Kinésithérapie de prévention des troubles de l'équilibre, sachant que c'est une pratique encore récente et peu étudiée ?

Il s'agit donc de répondre à la question de recherche suivante : « L'entraînement à la slackline a-t-il des effets sur la performance d'équilibration sur surface stable et sur surface instable ? ».

## **4 Matériel et méthode**

### **4.1 Choix de la méthode**

L'objectif est de réaliser un état des lieux des résultats proposés dans la littérature scientifique concernant les effets du slacklining sur la performance d'équilibre statique et dynamique. Le but final étant de déterminer s'il existe un consensus concernant l'effet d'un entraînement au slacklining sur la stabilité posturale de personnes en bonne santé.

La revue de littérature permet de synthétiser l'état actuel de la recherche et de résumer l'état de l'art dans ce domaine. La question de recherche se trouve à la frontière entre le savoir et le non savoir. L'objectif de la revue de littérature est d'agrandir le cadre du savoir et de permettre aux professionnels de santé d'orienter les décisions cliniques en accédant à des informations valides (56).

### **4.2 Critères PICO**

De manière à offrir un cadre à ce questionnement et orienter efficacement les recherches à suivre, nous avons basé notre méthode sur le modèle PICO (Population, Intervention, Comparateurs, Outcome/Résultat) (57) :

- Population : les participants étaient des adolescents, des adultes et des personnes âgées sans antécédent de troubles neurologiques, orthopédiques ou cardiaques, pouvant effectuer l'entraînement étudié et les tests d'équilibre.
- Intervention : l'entraînement sur slackline.
- Comparateur : un groupe témoin qui n'a pas reçu l'intervention sur slackline.
- Outcomes : la performance d'équilibre sur la slackline, surface stable et sur surface instable.

### 4.3 Les bases de données

Le recensement des données, traitant la formation sur slackline, a été réalisé en utilisant différents moteurs de recherche entre novembre 2019 et février 2020. En effet, deux bases de données ont été consultées afin de recueillir des publications les plus pertinentes possibles, pouvant répondre à la problématique de recherche :

- ScienceDirect est une base de données multidisciplinaire contenant principalement des publications parues dans les nombreux périodiques édités par Elsevier. Bien que ce moteur de recherche multilingue soit peu spécifique à la masso-kinésithérapie, il recense notamment des articles scientifiques, médicaux et techniques.
- Medline, moteur de recherche de PubMed. Il s'agit d'une base de données scientifique dans le domaine de la santé, regroupant toutes les disciplines médicales. Elle a été développée par le centre américain pour les informations biotechnologiques (NCBI).

### 4.4 Mots clés et équations de recherche

Pour interroger ces bases de données, nous avons utilisé des **équations de recherche** construites à partir de mots clés découlant de notre question de recherche.

Lors de nos premières tentatives de recherche littéraire, nous avons été confrontés au silence documentaire. Afin de recueillir le plus de données possible, nous avons choisis de n'utiliser que l'item « intervention » de la méthode PICO pour déterminer les mots clés que nous utiliserons dans les bases de données sélectionnées.

- Sur la base de données ScienceDirect, les opérateurs booléens « OR » et « AND » ont été utilisés afin de rendre l'équation plus précise. L'équation de recherche utilisée était alors : « slackline OR slackliner OR slacklining ». Nous avons obtenu 9 résultats le 25 novembre 2020.
- Sur la base de données PubMed, l'utilisation de la même équation de recherche n'était pas possible car elle entraînait du bruit documentaire avec 212 résultats. Nous avons donc fait une recherche à partir du mot : « slackline ». Nous avons alors obtenu 26 résultats le 25 novembre 2020.

Nous avons fait le choix de ne pas fixer de **période de rétention** dans le but de retenir le maximum d'articles, car la littérature concernant notre sujet est relativement pauvre. À noter qu'aucune étude obtenue n'a été publiée avant 2010.

Une **veille documentaire** a été réalisée du 25/11/2019 au 28/02/2020, à l'issue de laquelle deux nouveaux articles ont été obtenus sur la base de données PubMed.

#### **4.5 Critères d'inclusion et d'exclusion**

Dans cette étude, nous avons appliqué trois niveaux de filtrage pour la sélection des publications. Dans un premier temps nous avons effectué une sélection par la lecture du titre, puis par la lecture du résumé, et enfin par la lecture et analyse du texte dans son intégralité.

Les articles non pertinents ont été exclus. Une décision finale d'inclusion ou d'exclusion a été prise en utilisant les critères d'inclusion suivants :

- Articles en texte intégral, publiés en français ou en anglais.
- Études contrôlées randomisées avec des tests avant et après l'intervention. Il s'agit d'études prospectives contrôlées, à deux bras. La répartition des sujets est faite de façon aléatoire. La minimisation étant un procédé de randomisation utilisé lors de l'allocation des participants dans des groupes expérimentaux, nous avons décidé d'inclure dans notre revue les essais qui l'utilisaient.
- Population de personnes en bonne santé.
- Articles s'intéressant à l'entraînement sur slackline.
- Articles évaluant la performance d'équilibre.

Nous avons décidé d'exclure les articles présentant une population dont les participants présentaient une pathologie, des problèmes cardiaques chroniques, des antécédents de troubles orthopédiques et/ou neurologiques.

Les articles dont le résultat cible n'était pas approprié, ou ne permettait pas de nourrir notre question de recherche, n'ont pas été inclus.

Le type d'entraînement à la slackline a été noté, mais n'a pas représenté un critère de sélection. Ceci afin de rendre notre recherche plus générale, et du fait de la faible littérature existante à propos de notre sujet d'étude.

#### **4.6 Outils d'extraction**

Le logiciel Zotero a été utilisé pour l'extraction des études de ce travail. Il a permis d'éliminer les doublons entre les différents moteurs de recherche. La sélection des articles pour notre travail s'est faite de façon manuelle, sans utilisation de site internet spécialisé. La sélection manuelle des articles nous a été permise par le nombre restreint d'articles obtenus. De plus, nous étions peu familiarisés avec ce type de site internet.

#### **4.7 Sélection des publications**

Lors de la recherche initiale dans les deux bases de données utilisées, nous avons obtenu 37 résultats potentiellement pertinents. L'analyse des listes de référence de ces articles a permis d'apporter 5 articles supplémentaires à notre recherche afin de la compléter.

Après l'élimination des doublons, les titres et les résumés des 36 articles restants ont été étudiés. Six résumés ne correspondaient pas au résultat cible approprié. Trente textes complets ont été examinés plus en détail, dont vingt ne remplissaient pas les critères d'inclusion : par exemple, aucune intervention de formation, pas de condition de contrôle, études non randomisées. Enfin, dix études ont été incluses.

Le processus de sélection des articles est représenté par le Logigramme PRISMA (Figure 9) (58).

Légende : type d'étude (S)

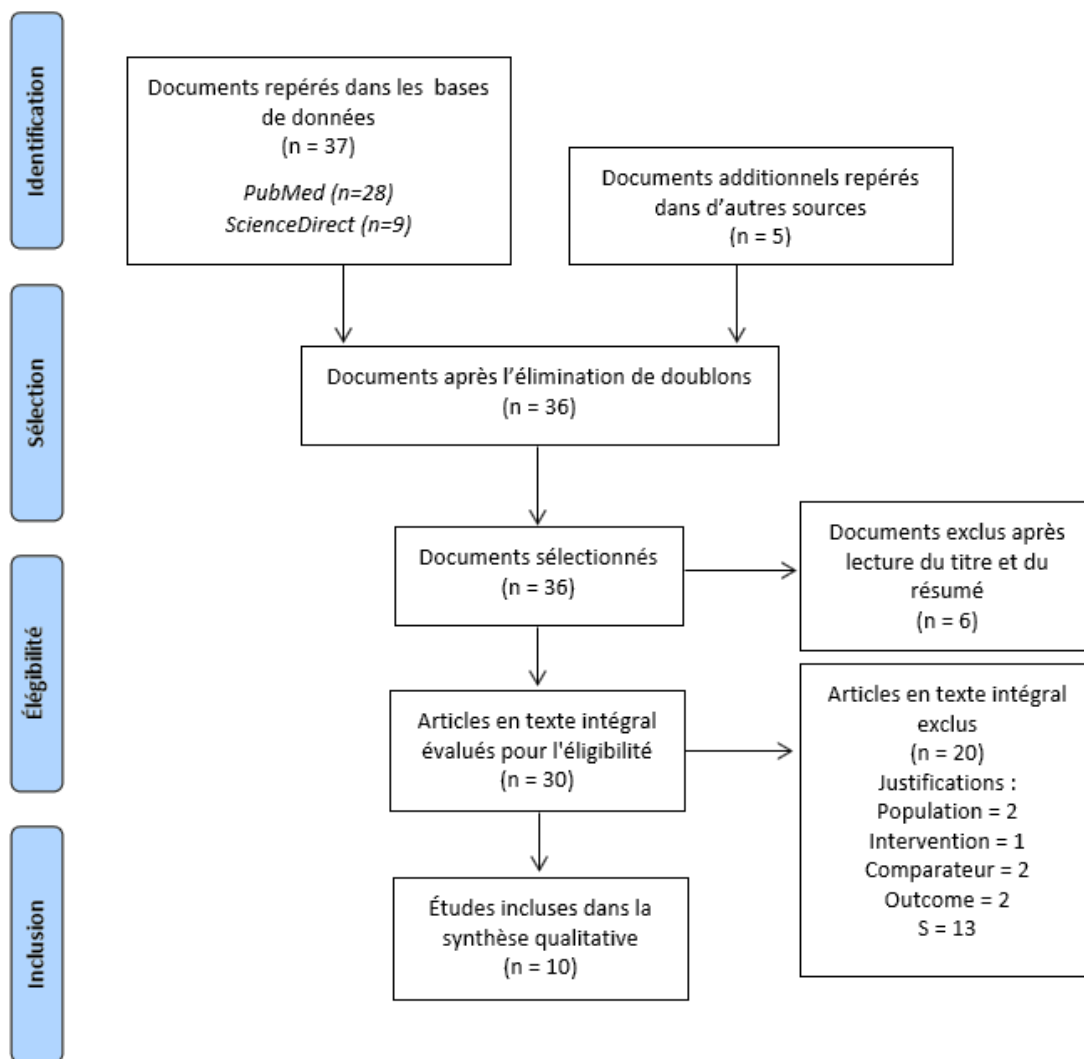


Figure 9 : Logigramme PRISMA (57)

#### 4.8 Outils d'évaluation de la qualité méthodologique des études

Une évaluation de la qualité méthodologique des études incluses accompagne l'analyse de nos résultats. La qualité méthodologique des études contrôlées randomisées a été évaluée sur la base de l'échelle PEDro (Physiotherapy Evidence Database) (59). Cette échelle comprend 11 critères permettant de déterminer la randomisation, la validité interne et externe et les informations statistiques des essais en question. Nous accordons à chaque critère une réponse binaire (validé ou non validé).

De plus, le niveau de preuve des études a été évalué par la gradation de l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé (ANAES) (35), recommandée par la HAS.

## **5 Résultats**

Suite à ce processus, nous retenons un total de dix articles pour notre analyse. Tous sont des essais cliniques randomisés, publiés entre 2010 et 2019. Ils sont issus de journaux dont quatre sont originaires des États-Unis (60–63), deux du Royaume-Uni (64,65), un d'Allemagne (66), un d'Italie (67), un des Pays-Bas(68) et un de Suisse (69)

### **5.1 Evaluation méthodologique**

#### **5.1.1 Niveau de preuve**

Toutes ces études sont des études contrôlées randomisées, elles obtiennent donc le niveau de preuve scientifique numéro 1, soit une recommandation de grade A, selon la gradation de l'ANAES (35).

#### **5.1.2 Qualité méthodologique**

Les dix essais contrôlés randomisés inclus ont un score méthodologique PEDro compris entre 6 et 8, ce qui leur confère une haute qualité méthodologique (70). Le score moyen des études incluses dans notre revue s'élève ainsi à 7. Un détail des scores PEDro est disponible dans le tableau I.

Mis à part une étude (69) où les évaluateurs étaient aveuglés, aucun autre des essais n'a aveuglé les participants, les superviseurs ou les évaluateurs chargés des tests. Cependant, l'aveuglement est considéré comme difficile dans les études dont l'intervention est une formation.

**Tableau I : Détails des scores PEDro des essais cliniques inclus**

✓ : critère validé, - : critère non validé.

| Référence                  | Eligibilité spécifiée | Assignment aléatoire | Assignment dissimulée | Valeurs de référence similaires | Participants aveuglés | Intervenants aveuglés | Evaluateurs aveuglés | Abandon < 15% | Traitement reçu tel qu'attribué | Comparaison statistique entre groupes | Mesures ponctuelles et variabilité fournies | Somme (2–11) |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|---|--------------|
| Granacher et al. (66)      | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Pfusterschmied et al. (65) | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Santos et al. (67)         | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Santos et al. (60)         | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Donath et al. (64)         | -                     | ✓                    | -                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 6            |
| Thomas et Kalicinski (61)  | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Magon et al. (68)          | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Dordevic et al. (69)       | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | ✓                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 8            |
| Giboin et al. (62)         | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |
| Fernandez-Rio et al. (63)  | ✓                     | ✓                    | ✓                     | ✓                               | -                     | -                     | -                    | ✓             | ✓                               | ✓                                     | ✓   | 7            |

## 5.2 Caractéristiques des études

Le tableau II regroupe les caractéristiques principales des études incluses.

Légendes : groupe d'entraînement à la slackline (INT), groupe contrôle (CNT), taille de l'échantillon (n), âge (moyenne ± écart-type en année)

**Tableau II : Caractéristiques des études incluses**

| Référence                                | Échantillon : population, taille de l'échantillon, âge | Groupes                      | Intervention   | Caractéristiques de l'entraînement  | Mesure des résultats   |
|--|--|------------------------------|--|---|--|
| <b>Granacher et al. (2010)</b> (66)      | Adultes en bonne santé<br>n = 27<br>âge : 23,35 ± 3,85 | INT (n = 13)<br>CNT (n = 14) | INT : entraînement à l'équilibre sur des slacklines de 6 à 15 m, de largeur 3,5 cm. Exercices : position unipodale, tandem, marche sur la slackline avec puis sans assistance sur une longueur de ligne augmentant progressivement, marcher de côté et en arrière, s'agenouiller et se tenir debout, jongler, lire, les yeux fermés.<br>CNT : pas d'intervention | 4 semaines,<br>3 sessions / sem,<br>45 min / séance,<br><br>2 min<br>d'entraînement<br>entrecoupées de<br>pauses de 2 min | Déplacement du centre de pression<br>Position unipodale sur la jambe dominante<br>En condition statique (30 sec) et dynamique (10 sec)     |
| <b>Pfusterschmied et al. (2013)</b> (65) | Adultes en bonne santé<br>n = 24<br>âge : 24,5 ± 0,9   | INT (n = 12)<br>CNT (n = 12) | INT : entraînement à l'équilibre sur des slacklines de 7 à 18 m avec une largeur de 2,58 cm. Exercices : debout et premiers pas avec ou sans soutien, marcher en avant et en arrière, attraper et lancer une balle, se tourner, se lever de la position assise, jonglerie, marcher avec les mains sur les hanches.<br>CNT: pas d'intervention                    | 4 semaines,<br>10 séances au total,<br>90 min / session   | Mesures posturographiques (15 sec)<br>Position unipodale (jambe préférée) de manière statique et dynamique (perturbations médio-latérales) |

|                                  |   |                              |  |  |   |
|----------------------------------|---|------------------------------|--|--|---|
| <b>Santos et al. (2014)</b> (67) | Jeunes judokas en bonne santé de niveau national et international<br>n = 15<br>âge : 15,71 ± 1,98                 | INT (n = 8)<br>CNT (n = 7)   | INT : entraînement à l'équilibre sur des slacklines de 7 à 18 m avec une largeur de 5 cm. Exercices : debout et premiers pas avec ou sans soutien, marcher en avant et en arrière, attraper et lancer une balle, se tourner, se lever de la position assise, jonglerie, marcher avec les mains sur les hanches.<br>CNT : pas d'intervention  | 4 semaines,<br>2 sessions/ sem,<br>60 min / session  | Déplacement du centre de pression (10sec)<br>Position bipodale, unipodale sur surface stable                      |
| <b>Santos et al. (2016)</b> (60) | Jeunes joueuses de basketball en bonne santé en niveau national (senior ou U18)<br>n = 25<br>âge : 17,875 ± 6,315 | INT (n = 13)<br>CNT (n = 12) | INT : entraînement à l'équilibre sur slackline de 6 m avec une largeur de 5 cm. Exercices : chaque semaine progression du niveau des exercices; par exemple, position unipodale et tandem sur slackline avec ou sans assistance; marche avant et arrière; position latérale.<br>CNT : pas d'intervention<br><br>INT et CNT : programme hebdomadaire de basketball (4 séances/semaine, 90 min/séance) | 6 semaines,<br>3 sessions / sem,<br>5 à 9 min / session<br><br>Avant échauffement spécifique au basket | Déplacement du centre de pression (10sec)<br>Position bipodale, unipodale, surface ferme et souple, yeux ouverts. |

|   |  |                              |   |  |   |
|---|--|------------------------------|---|--|---|
| <b>Donath et al. (2016)</b> (64)        | Personnes âgées en bonne santé<br>n = 31<br>âge : 63,75 ± 3,9  | INT (n = 16)<br>CNT (n = 15) | INT : entraînement à l'équilibre sur un slackrack de 5 m avec une largeur de 5 cm. Exercices : 3 niveaux de progression ; position debout et marche sur slackline avec et sans soutien, se balancer, se tourner, marcher avec et sans soutien.<br>CNT : pas d'intervention  | 6 semaines,<br>3 sessions/sem,<br>20 min/session   | Temps maximal d'équilibre unipodal ou en tandem sur slackline<br>Déplacement du centre de pression (30sec) en position bipodale et unipodale sur surface stable |
| <b>Thomas et Kalicinski (2016)</b> (61) | Personnes âgées en bonne santé<br>n = 24<br>âge : 67,1 ± 4,8   | INT (n = 12)<br>CNT (n = 12) | INT : entraînement à l'équilibre sur un slackrack de 3,84 m avec une largeur de 5 cm. Exercices : position debout et marche sur la slackline.<br>CNT : pas d'intervention   | 6 semaines,<br>2 sessions/sem,<br>20 min/session   | Temps maximal d'équilibre unipodal ou en tandem sur plateforme (maximum 30sec) avec et sans perturbations   |
| <b>Magon et al. (2016)</b> (68)         | Personnes âgées en bonne santé<br>n = 28<br>âge : 62,05 ± 5,35 | INT (n = 14)<br>CNT (n = 14) | INT : entraînement à l'équilibre sur slackline de 5 m avec une largeur de 5 cm. Exercices : position debout et marche sur la slackline.<br>CNT : pas d'intervention; 3 séances de formation, de 90 minutes chacune, sur l'importance de l'entraînement à l'exercice neuromusculaire pour la prévention des chutes | 6 semaines,<br>3 sessions/sem,<br>20 min / session<br><br>1 min d'entraînement entrecoupées de pauses de 3 min | Temps maximal d'équilibre unipodal ou en tandem sur slackline   |

|   |  |                              |   |   |  |
|---|--|------------------------------|---|---|--|
| <b>Dordevic et al. (2017)</b> (69)      | Adultes en bonne santé<br>n = 50<br>âge : 23,8 ± 2,65  | INT (n = 25)<br>CNT (n = 25) | INT : entraînement à l'équilibre sur un slackrack de 3 m, largeur non spécifiée. Exercices : position unipodale, tandem, marche sur la slackline.<br>CNT : pas d'intervention   | 4 semaines,<br>3 sessions/sem,<br>50 min / session  | « test d'équilibre clinique complet » développé par les experts : équilibre bipodal et unipodal sur surface stable et instable, yeux ouverts ou fermés               |
| <b>Giboin et al. (2018)</b> (62)        | Adultes en bonne santé<br>n = 28<br>âge : 21,9 ± 2,3 ans   | INT (n = 12)<br>CNT (n = 14) | INT : entraînement à l'équilibre sur slackline de 5 m avec une largeur de 3 cm. Exercices : position unipodale, yeux fermés, marche sur la slackline.<br>CNT : pas d'intervention   | 12 semaines,<br>2 sessions/sem,<br>45 min / session | Nombre maximal de pas sur deux slacklines différentes.<br>Temps maximal d'équilibre unipodal sur surface instable et sur surface stable, yeux ouverts et yeux fermés |
| <b>Fernandez-Rio et al. (2019)</b> (63) | Jeunes footballeurs masculins en 1 <sup>ère</sup> division de la ligue nationale<br>n = 34<br>âge : 16,64 ± 0,81 | INT (n = 18)<br>CNT (n = 16) | INT : entraînement à l'équilibre sur slackline (longueur non précisée) avec une largeur de 5 cm. Exercices : position unipodale, tandem, marche sur la slackline.<br>CNT : pas d'intervention<br><br>INT et CNT : programme hebdomadaire de football (4 séances/semaine, 90 min/séance) | 6 semaines,<br>3 sessions/sem,<br>5 à 9 min/session | Déplacement du centre de pression (10sec)<br>Position bipodale, unipodale, surface ferme, yeux ouverts.  |

### 5.3 Procédure des tests

La performance de la tâche formée a été évaluée par le maintien de l'équilibre sur slackline. Afin d'évaluer le transfert de tâche, les conditions d'évaluation se sont déroulées sur surface stable et sur surface instable. Le contrôle postural a été évalué par l'étude du centre de pression (CdP) et par des tests de maintien de l'équilibre sur divers supports, en position unipodale ou en tandem. Les études seront présentées dans l'ordre chronologique à l'instar du Tableau II.

Dans l'étude de Granacher et al. (66), des mesures du contrôle postural unipodal statique et dynamique ont été réalisées sur une plate-forme de force, avant et après la période de formation. Pour chaque condition, le déplacement total du CdP a été calculé. Lors du test en condition statique, la plate-forme était solidement fixée au sol. Les participants devaient se tenir aussi immobiles que possible sur leur jambe dominante, les mains sur les hanches et le regard fixé à un point sur le mur voisin. Un seul essai a été réalisé, avec une durée d'acquisition de 30 secondes. Lors du test en condition dynamique la plate-forme a été placée sur 4 ressorts lui permettant de se déplacer dans les directions transversale, médio-latérale et antéro-postérieure. Des impulsions de perturbation médio-latérale ont été appliquées de façon inattendue. Les participants devaient amortir la plate-forme en s'équilibrant. Les données ont été acquises pendant 10 secondes. Trois essais ont été réalisés et le meilleur essai, c'est-à-dire avec le moins de déplacements du CdP, a été utilisé pour l'analyse.

Dans l'étude de Pfusterschmied et al. (65), des mesures posturographiques ont été effectuées pendant une position tenue 15 secondes sur une seule jambe, sur une surface stable ou perturbée, avant et après la période de formation. Les perturbations médio-latérales ont été effectuées sur une plate-forme multiaxiale à oscillation libre (Posturomed, Haider Bio-swing, Pullenreuth, Allemagne). La perturbation était appliquée de manière aléatoire par un système magnétique qui entraînait une déviation de la plate-forme dans l'axe médio-latéral. Dans la condition stable, les participants plaçaient leurs mains sur leurs hanches. Dans la condition perturbée, ils tendaient leurs bras en abduction. Deux essais dans la condition stable et trois essais dans la condition perturbée ont été enregistrés et ont fait l'objet d'une moyenne. Pour collecter des données cinématiques, un système d'analyse du mouvement en 3D (VICON

MX13, Vicon, Oxford, Royaume-Uni) a été utilisé. Des repères anatomiques prédéfinis ont été mis en évidence par des marqueurs réfléchissants afin d'estimer les centres articulaires, l'orientation des segments, l'emplacement du centre de gravité (CdG) et des angles d'articulation à l'aide de logiciels disponibles dans le commerce (Nexus, Vicon, Oxford, UK) et du modèle PlugIn Gait (Vicon, Oxford, UK). Les variables élémentaires calculées à partir des trajectoires du CdG du corps dans la direction antéropostérieure et dans la direction médio-latérale ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie. Les mouvements des articulations de la cheville, du genou et de la hanche dans les plans sagittal et frontal ont également été analysés.

Dans l'étude de Santos et al. (67), réalisée sur des jeunes judokas, le déplacement du CdP a été analysé sur une plate-forme baropodométrique (FreeMED™ Sensormedica Rome, Italie). La durée d'acquisition était de 10 secondes, dans trois conditions différentes : position bipodale, position unipodale à droite et à gauche. Le but était d'évaluer plusieurs paramètres clés du contrôle postural : longueur de balancement (déplacement du centre de pression, en mm), l'amplitude du déplacement du CdP ou surface de l'ellipse (zone de précision du contrôle postural, en mm<sup>2</sup>) et vitesse moyenne (réactions posturales à maintenir l'équilibre, en mm/s). Les participants devaient rester aussi immobiles que possible, les mains sur les hanches et le regard fixé sur une cible à 2,5 m de la plate-forme. Dans la position bipodale, la largeur de l'appui a été fixée à 17 cm. Trois tentatives pour chaque condition de test ont été réalisées.

Dans l'étude de Santos et al. (60), réalisée sur des jeunes joueuses de basketball, des mesures du centre de pression ont été réalisées à l'aide d'une plate-forme baropodométrique (FreeMED Sensormedica, Rome, Italy). Un logiciel a permis d'étudier la position du CdP dans le plan sagittal pour l'analyse des perturbations antéro-postérieures et dans le plan transversal pour les perturbations médiolaterales. Les participants ont effectué ces tests dans la position bipodale, unipodale sur pied droit et sur pied gauche, sur une surface stable ou instable, avec les yeux ouverts. La largeur de l'appui a été fixée à 17 cm lors de la position bipodale. Les participants devaient se trouver pieds nus, les mains posées sur les hanches, et le regard fixé sur une cible à 2,5 m de la plate-forme. Trois types de paramètres du CdP ont été évalués : les paramètres de positionnement, les paramètres de positionnement médian et les paramètres de dispersion.

Les paramètres de positionnement exprimaient le système de contrôle postural (SCP) d'un point de vue global en utilisant la longueur (déplacement CdP), la surface (zone de précision SCP), la relation longueur / surface (indice mathématique qui exprime l'efficacité SCP) et la vitesse (réactions posturales pour maintenir l'équilibre). Les paramètres de positionnement médian ont été déterminés à partir de la dispersion de la CdP dans les directions antéro-postérieure et médio-latérale. Les paramètres de dispersion se réfèrent au degré de déviation CdP par rapport aux paramètres de positionnement. Trois tentatives de chaque test ont été enregistrées, avec une durée d'acquisition de 10 secondes chacune, et les données moyennes des trois tests ont été incluses dans les analyses statistiques.

Dans l'étude de Donath et al. (64), la performance d'équilibre debout a été évaluée de deux manières : sur la slackline et sur une plaque de force. La durée moyenne de station debout, en position unipodale (droite et gauche) et en position tandem a été mesurée à l'aide de deux chronomètres manuels. Les participants ne devaient pas porter de chaussures et se trouver sur la marque au niveau médial de la slackline. Un poids de calibrage de 15 kg a été utilisé pour normaliser la tension de la slackline. L'affaissement de la slackline entraîné par ce poids était mesuré et maintenu à 7,5 cm pendant les tests et pendant chaque séance de formation. Trois essais ont été effectués pour chaque position. Le meilleur des trois essais a été analysé.

Après avoir été testé sur slackline, la performance d'équilibre a été testée sur une plaque de force. Elle a été déterminée par le calcul du déplacement du CdP, en position unipodale (droite et gauche) et en position tandem. Les participants avaient pour consignes de se tenir aussi immobile que possible, les mains sur les hanches et en fixant un point marqué au mur. Trois essais étaient réalisés pour chacune des conditions, avec une durée d'acquisition de 10 secondes. Le meilleur des trois essais a été analysé.

Dans l'étude de Thomas et Kalicinski (61), le contrôle postural des participants a été mesuré sur une plate-forme mobile (Posturomed, HaiderBioswing, Pullenreuth, Allemagne), dans la position unipodale sur la jambe préférée et dans la position tandem. Les deux conditions ont été réalisées avec ou sans perturbations externes. La perturbation externe correspondait à une déviation de la plate-forme dans le sens médio-latéral, standardisée à 1 cm. Elle était déclenchée de manière inattendue. Les participants devaient maintenir la position aussi

longtemps que possible, pour un maximum de 30 secondes. Les paramètres mesurés étaient le temps maximal de maintien de la posture.

Dans l'étude de Magon et al. (68), les participants ont été évalués concernant le temps maximal de maintien de la position unipodale et de la position tandem sur la slackline. Ils ont été évalués avant et après la période de formation de 6 semaines grâce à deux chronomètres manuels. Les participants ne devaient pas porter de chaussures et se trouver sur la marque au niveau médian de la slackline. Comme dans l'étude citée précédemment, un poids de calibrage de 15 kg a été utilisé pour normaliser la tension de la slackline. L'affaissement de la slackline entraîné par ce poids était mesuré et maintenu à 7,5 cm pendant les tests et pendant chaque séance de formation. Trois essais ont été réalisés pour chaque condition et la meilleure des trois tentatives a été incluse dans l'analyse.

Dans l'étude de Dordevic et al. (69), l'évaluation du maintien de l'équilibre s'est fait par un test développé par des experts de l'institut des sciences du sport, en relation avec les auteurs. Ce test comporte 30 éléments d'évaluation, dont 14 évaluent la position debout et 16 évaluent la marche. Parmi ces différentes conditions, 8 sont effectuées avec les yeux fermés. Pour chaque condition, un évaluateur jugeait de façon subjective l'équilibre postural et attribuait une note entre 0 et 3 points. Le nombre maximal de points pouvant être collectés lors du test était de 90. Les conditions debout incluaient 6 items sur surface stable (le sol), et 8 items sur surface instable (coussin souple). Dans chacune des conditions debout, les participants avaient pour consigne de maintenir la position requise pendant 15 secondes.

Dans l'étude de Giboin et al. (62), les participants ont réalisé sept tests différents, avant et après les 12 semaines de formation. Deux de ces tests ont été réalisés sur slackline. Le premier correspondait au nombre de pas effectué avant de descendre ou de tomber de la slackline. Ce test se réalisait sur la slackline utilisée pendant les trois mois de formation (Slackline-Tools, largeur = 3 cm, hauteur = 42 cm, longueur = 5 m). La tension de la Slackline a été normalisée grâce à un poids de 10 kg, qui devait entraîner une réduction de hauteur de 14% par rapport à la hauteur initiale. Les participants partaient d'une plate-forme située à l'une des extrémités de la slackline, et devaient faire le maximum de pas, tout en gardant les mains sur les hanches. Pour que le pas soit validé, le sujet devait rester dans une position unipodale pendant 2

secondes entre chaque pas. Dans cette même étude, un autre de ces tests correspondait à la même tâche que celle décrite ci-dessus, mais cette fois-ci elle était effectuée sur une slackline avec moins de tension. Cette deuxième slackline (GIBBON Slackline, largeur = 5 cm, hauteur = 37 cm, longueur = 5 m), avait une réduction de hauteur de 25% lorsqu'un poids de 10 kg le poids était placé au milieu de la ligne.

Deux autres tests ont été réalisés sur plaque de force. Ils évaluaient l'équilibre unipodal sur surface stable. Les participants étaient placés sur une plaque de force et devaient maintenir la position sur une jambe avec les mains sur les hanches. Un de ces tests était réalisé les yeux ouverts, et l'autre était réalisé les yeux fermés. La performance était définie comme l'amplitude du déplacement du CdP exprimée en  $\text{cm}^2$ . Elle était enregistrée par la plaque de force pendant 10 secondes.

Pour finir, trois tests ont été réalisés sur surface mobile. Les participants devaient maintenir la position unipodale le plus longtemps possible sur une plate-forme maintenue sur un hémisphère avec des élastiques (SENSOBOARD Sensosport GmbH) (Figure 10). Les participants devaient avoir les mains sur les hanches et monter sur cette



Figure 10 : plate-forme SENSOBOARD de la marque Sensosport®

plate-forme à partir d'une zone sur-élevée. La performance correspondait au temps de maintien de l'équilibre. L'arrêt du maintien de l'équilibre était défini par le contact du second pied avec la planche ou par le contact d'un côté de la planche avec le sol. Elle était mesurée avec un chronomètre, et plafonnée à 20 secondes. Les deux derniers tests consistaient à maintenir l'équilibre unipodal sur un panneau inclinable médio-latéral ou antéro-postérieur. Dans les deux cas, le test consistait à amener la plate-forme du panneau inclinable en position horizontale et à la maintenir en équilibre. La performance correspondait à la durée pendant laquelle la plate-forme était considérée en équilibre (c'est-à-dire lorsque la plate-forme était positionnée dans le plan horizontal à  $\pm 5$  degrés). Cela était mesuré à l'aide d'un système de capture de mouvement à 12 caméras (T40s, 200Hz, Vicon Nexus 1.8.5). La performance au cours de chacun des tests d'équilibre était considérée comme la performance moyenne des 4 essais.

Dans l'étude de Fernandez-Rio et al. (63), réalisée sur des jeunes joueurs de football, tous les participants ont effectué les mêmes tests avant et après l'intervention. L'un des tests concernait les mesures du CdP qui ont été obtenues grâce à une plate-forme baropodométrique (FreeMEDTM Sensormedica, S.A.S. ; Rome, Italie). Le CdP était évalué dans le plan sagittal (perturbations antéro-postérieures) et le plan transversal (perturbations médio-latérales) dans différentes conditions : position bipodale, position unipodale à droite et gauche, sur surface ferme, les yeux ouverts. La largeur de l'appui a été fixée à 17 cm en position bipodale. Afin de caractériser le système de contrôle postural, différentes variables ont été évaluées : données de longueur (déplacement du CdP), de surface (zone de précision du système de contrôle postural) et de vitesse (réactions posturales). Trois tentatives de chaque test ont été enregistrées avec une durée d'acquisition de données de 10 secondes.

## **5.4 Synthèse des résultats**

### **5.4.1 Concernant la performance de la tâche formée**

Dans l'étude de Donath et al. (64), l'analyse statistique a montré des différences significatives entre les tests avant et après l'intervention pour le groupe INT dans toutes les conditions de station debout sur slackline, contrairement au groupe CNT qui ne montrait pas de différences significatives.

Dans l'étude de Magon et al. (68), l'analyse statistique a montré une amélioration significative de la performance d'équilibre dans le groupe INT après la formation concernant le temps de maintien de l'équilibre en position tandem sur la slackline, et en position unipodale sur la jambe gauche. À l'inverse, dans le groupe CNT, le temps de maintien de l'équilibre n'a pas changé de façon significative, entre les évaluations avant et après la formation, pour ces deux positions. De plus, aucun effet d'interaction significatif entre les groupes et la formation n'a été observé pour la position unipodale sur la jambe droite sur la slackline.

Dans l'étude de Giboin et al. (62), après analyses statistiques, il a été démontré pour les deux tests, sur deux slacklines différentes, une augmentation significative du nombre de pas pour le groupe INT par rapport au groupe CNT.

En résumé, trois études ont évalué la stabilité posturale sur slackline, en chronométrant le temps de maintien de la position en secondes (64,68), ou en comptant le nombre de pas effectués sur la slackline (62). Pour chacune d'elle, l'analyse statistique a montré des différences significatives entre les tests avant et après l'intervention pour le groupe INT dans les différentes conditions de tests. Au contraire, le groupe CNT ne montrait pas de différences significatives. Ces résultats montrent une amélioration de la performance d'équilibre spécifique à la tâche entraînée. Ils montrent également un transfert de performance vers une tâche très similaire, c'est-à-dire sur une slackline différente que celle utilisée pendant la formation (62).

#### **5.4.2 Concernant la performance d'équilibre sur surface stable**

Neuf études ont évalué le contrôle postural sur surface stable, dont six d'entre elles ont utilisé l'étude du CdP et trois ont utilisé des tests de maintien en position unipodale ou en tandem.

Dans les études de Granacher et al. (66), Santos et al. (60), Donath et al. (64), Giboin et al., aucun changement significatif n'a été retrouvé concernant l'étude du CdP sur surface stable entre les résultats des tests réalisés avant et après formation.

Cependant, dans l'étude de Santos et al. (67), après analyse statistique, des effets d'entraînement significatifs pour plusieurs variables ont été retrouvés dans le groupe INT : réduction de la longueur de balancement en position bipodale, vitesse moyenne en position bipodale, longueur de balancement en position unipodale à droite et à gauche. Dans le groupe CNT, aucun changement n'a été trouvé entre les scores pré et post-test dans les variables évaluées. De plus, dans l'étude de Fernandez-Rio et al. (63), des différences significatives ont été révélées entre le groupe INT et le groupe CNT lors des tests post-formation, en faveur du groupe INT. En effet, pour la condition position bipodale sur surface ferme, le paramètre évaluant la surface du CdP avait statistiquement diminué. Pour les conditions en position unipodale droite et gauche sur surface ferme, les paramètres évaluant la longueur, la surface et la vitesse avaient également statistiquement diminué.

Trois études ont utilisé le test de maintien de l'équilibre de la position une jambe ou en tandem. Thomas et Kalicinski (61) n'ont retrouvé aucun changement significatif pour la position tandem sans perturbations. Cependant, pour la position unipodale sans perturbations, une différence significative entre le test avant et après la formation a été retrouvée pour le groupe INT, ce qui indique que seuls les participants du groupe INT ont amélioré leur temps maximal d'équilibre.

Dans l'étude de Dordevic et al. (69), après analyse statistique, les résultats globaux ne présentent pas de différence significative. Cependant, lorsque seules les conditions dans lesquelles les participants avaient les yeux fermés ont été analysées, un effet d'interaction significatif a été retrouvé entre le groupe de formation et l'amélioration du score entre les tests avant/après formation.

De plus, dans l'étude de Pfusterschmied et al. (65), un effet d'entraînement et un effet de groupe significatif ont été observés dans la vitesse moyenne CdG dans la direction antéro-postérieure, concernant la condition stable. En effet, une diminution significative des scores de déplacement du CdG pour le groupe INT, alors qu'aucun changement n'a été observé dans le groupe CNT. Un effet principal pour le groupe dans la variabilité angulaire de l'articulation de la hanche a été révélé. Pour toutes les autres variables mesurées, aucune différence significative n'a été observée.

#### **5.4.3 Concernant la performance d'équilibre sur surface instable**

Six études ont évalué le contrôle postural sur surface instable, dont trois ont utilisé l'étude du CdP et trois ont utilisé des tests de maintien de l'équilibre sur divers supports, en position unipodale ou en tandem.

Les études de Dordevic et al. (69), Giboin et al. (62), Thomas et Kalicinski (61), ayant utilisé le test de maintien de la position unipodale ou en tandem, n'ont pas obtenu de changement significatif dans leur résultat après la période de formation sur slackline.

Dans les études de Granacher et al. (66) aucun changement significatif n'a été retrouvé concernant l'étude du CdP sur surface instable entre les groupes et les tests avant/après formation.

Cependant, dans l'étude de Pfusterschmied et al. (65), concernant la condition perturbée, l'analyse statistique a révélé une interaction significative de la vitesse moyenne CdG dans la direction médio-latérale, ainsi que pour la variabilité angulaire de l'articulation de la hanche et du genou. Pour le groupe INT, la comparaison entre les tests avant et après la formation a montré une diminution significative dans toutes les variables. De plus, dans l'étude de Santos et al. (60), des différences significatives ont été détectées dans plusieurs paramètres de la CdP avant et après la formation dans le groupe INT, mais pas dans le CNT. En effet, lors de l'équilibre unipodal de la jambe gauche sur surface instable, plusieurs paramètres ont diminué : les paramètres de positionnement (la longueur, la surface, la vitesse), ainsi que les paramètres de positionnement médian (la position CdP dans la direction antéro-postérieure et dans la direction médio-latérale). Lors de l'équilibre unipodal de la jambe droite sur surface instable plusieurs paramètres ont également diminué après intervention sur slackline : les paramètres de positionnement (la longueur et la vitesse), ainsi que les paramètres de positionnement médian (la position CdP dans la direction antéro-postérieure), et les paramètres de dispersion (le taux de CdP dans la direction antéropostérieure et l'amplitude moyenne du déplacement du CdP dans la direction antéropostérieure).

## **6 Discussion**

### **6.1 Analyse qualitative des items retenus**

Au vu de différences notables entre les études concernant les modalités d'interventions et les méthodes de mesure utilisées (voir Tableau II), nous avons fait le choix d'utiliser une analyse qualitative et non d'avoir recours à une modalité quantitative, c'est-à-dire à travers une méta-analyse. Ainsi, une synthèse descriptive nous permettra d'orienter les pratiques professionnelles en faisant un état des lieux de ce sujet.

#### **6.1.1 La population**

Concernant la population, nous pouvons remarquer que des différences existent entre les études. En effet, la moyenne d'âge varie de 15,7 ans à 67,1 ans ce qui représente une hétérogénéité importante. Trois études (61,68,71) ont été réalisées sur des personnes âgées.

Malgré que ces personnes âgées soient en bonne santé, le contrôle postural statique et dynamique se détériore au cours de la vie (72). Par exemple, il a été constaté à l'aide d'une plaque de force, qu'à partir de l'âge de 30 ans, le balancement postural augmente considérablement lors de la position debout, et cette augmentation est encore plus prononcée à partir de 60 ans, ce qui révèle une réduction du contrôle postural statique chez les personnes âgées (73). À cela s'ajoute que dans certaines études les échantillons ont été sélectionnés dans une population sportive (judokas (67), joueuses de basketball (60), joueurs de football (63)) ce qui augmente l'hétérogénéité au niveau de l'activité physique de base. Or, l'entraînement sportif à long terme semble améliorer l'efficacité du contrôle postural statique et dynamique dans les activités de la vie quotidienne (74), mais les changements posturaux semblent différents selon le sport pratiqué (75,76). Certaines données de la littérature suggèrent que ceci est le résultat de la répétition de la tâche entraînée qui influence les réponses motrices (77); d'autres soutiennent que l'amélioration de la performance du contrôle postural est le résultat d'une meilleure capacité à traiter les signaux proprioceptifs et visuels (78).

Cependant, toutes les études avaient des critères similaires concernant l'inclusion des sujets. En effet, les sujets ne devaient présenter aucun antécédent de troubles musculo-squelettiques, neurologiques ou orthopédiques, et n'avoir jamais eu d'entraînement sur slackline. Les principaux critères d'exclusion étaient les suivants : antécédents d'accident vasculaire cérébral, maladies cardiaques, hypertension, arthrose grave, vertige récurrent et traumatisme au cours des six derniers mois. De plus, au sein de chaque étude, les deux groupes INT et CNT étaient statistiquement comparables. En effet, au début de l'étude aucune différence significative n'a été retrouvée pour les caractéristiques évaluées. Cela limite le risque de résultats liés à des différences initiales entre les variables de pronostics.

### **6.1.2 L'intervention**

Concernant l'intervention, elle variait de 4 à 12 semaines selon les études. Le programme de formation durait 4 semaines pour quatre études (65–67,69), 6 semaines pour cinq études (60,61,63,64,68), et 12 semaines pour une étude (62). Les sujets bénéficiaient de 2 à 3 séances par semaines. Le nombre moyen de séances au total était de 15, avec un minimum de 8 et un

maximum de 24. Les séances duraient de 5 à 90 min selon les études, ce qui représente une hétérogénéité importante. À cela s'ajoute la différence de matériels utilisés, avec des slacklines libres ou des slackracks. Les largeurs de slackline variaient de 2,58 à 5 cm, ainsi que la longueur de slackline qui allait de 3 à 18 m entre les points d'ancrage. Or, ces paramètres influent sur le degré de difficulté.

De plus, le contenu des formations variait entre les études. La plupart d'entre elles ont construit un programme d'entraînement à partir de l'expérience personnelle des auteurs. Ils ont eux-mêmes choisi les exercices et le niveau de progression. Certaines études (60,63,65,67) se sont également basées sur des études antérieures (79,80). Par exemple, l'étude de Pfusterschmied et al. (65) s'est basée sur de la littérature (1,81,82) pour construire le contenu méthodologique de sa formation. Cette étude (65) a ensuite été reprise par trois essais suivants (60,63,67). Entre les différentes études, on peut cependant remarquer une similitude dans les exercices retrouvés, avec par exemple : position unipodale et tandem sur slackline, marche avant et arrière (cf Dossier d'Annexes : Vidéo 3), position latérale, sauts, retournements (cf Dossier d'Annexes : Vidéo 4). Il y avait une progression du niveau des exercices : avec soutien puis sans, yeux ouverts puis yeux fermés, augmentation de la longueur de la sangle, travail en double tâche.

### **6.1.3 Les critères d'évaluation**

Concernant les critères d'évaluation, la performance de l'équilibre a été évaluée par des tests différents. Premièrement, 3 études ont utilisé l'évaluation de l'équilibre sur slackline ; soit en chronométrant le temps de maintien de la position en secondes (64,68), soit en comptant le nombre de pas effectués sur la slackline (62). Aucun texte ne fait état de la signification clinique de ces valeurs mesurées. Cependant les auteurs se sont attachés à rendre ces tests les plus reproductibles possible en normalisant la déformation de la slackline et en marquant le centre de celle-ci pour que la position du sujet testé soit un critère invariant.

Deuxièmement, quatre études (61,62,65,69) ont utilisé l'évaluation de l'équilibre unipodal ; avec ou sans perturbations, et sur différents outils. Le maintien de la position unipodale ou « the single leg stance test » est fréquemment utilisé du fait de sa simplicité de mise en place et de recueil des résultats. C'est un test valide (83), décrit comme une méthode de

quantification de la capacité d'équilibre statique (84). Des données normatives sont disponibles (85). Il s'agit d'un bon prédicteur de chutes chez les personnes âgées (86) et des blessures secondaires associées. En effet, il est retrouvé dans la littérature, que l'augmentation d'1 seconde à ce test s'accompagnait d'une diminution significative du risque de fracture de la hanche de 5% (87). Il est aussi utile pour prédire d'autres variables importantes telles que la fragilité et l'autonomie dans les activités de la vie quotidienne (88,89), et la performance de la marche (90). Sa fiabilité inter-évaluateurs (85) le place comme outil de choix dans le dépistage clinique ou bien la mesure de résultats en réadaptation. Cependant, nous avons trouvé peu de données concernant le changement minimal détectable de ce test. Selon Goldberg et al. (91), chez les personnes âgées, un changement dans la performance de maintien de la position unipodale devrait dépasser 24,1 secondes pour être considéré comme un véritable changement.

Troisièmement, l'étude du centre de pression à l'aide de plate-forme baropodométrique a été utilisée dans six études (60,62–64,66,67). Une mesure quantitative couramment utilisée pour caractériser l'équilibre corporel est le déplacement du centre de pression (CdP); il s'agit de matérialiser les petits mouvements du corps en position debout en enregistrant les oscillations du CdP (92). En réponse à l'action du poids du corps, le CdP est le point d'application des forces de réaction du sol (93). Le déplacement CdP est généralement mesuré avec une plaque de force qui est considérée comme l'outil de référence (94). Diverses variables peuvent être calculées à partir du CdP pour évaluer la fonction posturale (5) : la surface de déplacement du CdP rend compte de la performance globale à la tâche posturale, la vitesse traduit l'énergie dépensée pour atteindre la performance, et l'amplitude du déplacement du CdP est associée à l'instabilité posturale. Ces techniques sont communément appelées stabilographie ou posturographie. Il n'existe pas encore de consensus sur les meilleures techniques d'analyse du déplacement des CdP pour extraire des informations significatives sur l'équilibre du sujet (95). Il n'existe pas non plus de donnée normative de cette méthode. Cependant, Ruhe et al. (96) concluent dans leur revue de la littérature que la fiabilité des paramètres traditionnels du CdP est acceptable, mais ils recommandent une durée d'acquisition de 90 secondes minimum. Or dans les études incluses à notre revue, la durée d'acquisition allait de 10 à 30 secondes seulement.

#### 6.1.4 Les résultats

Nous avons constaté que la formation à la slackline semble entraîner des améliorations des performances de l'équilibre propres à cette tâche. Cependant, l'élaboration d'une conclusion concernant les performances d'équilibre statique et dynamique semble difficile. En effet, la variabilité des tests utilisés, et les différentes conditions de réalisations pour chacun d'eux, peuvent compliquer la comparaison des résultats entre les différentes études incluses. Qu'il s'agisse de l'équilibre sur surface stable ou sur surface instable, nous pouvons constater que plusieurs paramètres se sont améliorés après l'entraînement à la slackline pour certaines études, alors que d'autres n'ont pas obtenus de tels résultats. À cela s'ajoute la difficulté de comparaison avec des données normatives pour l'équilibre en position unipodale et l'étude du centre de pression. Cet ensemble d'éléments ne nous permet pas de conclure au sujet de la performance de stabilité posturale sur surface stable et sur surface instable.

Nos résultats sont à mettre en parallèle avec ceux obtenus dans la méta-analyse de Donath et al. (71), portant sur l'évaluation des effets de 4 à 6 semaines de formation de slackline sur la performance d'équilibre chez les enfants, les adolescents, les adultes et les personnes âgées. Elle inclut huit essais portant sur au total 204 participants en bonne santé. Les auteurs ont observé des effets importants concernant les performances d'équilibre sur slackline en faveur de l'entraînement en slackline par rapport à la condition de contrôle, ce qui va dans le même sens que nos propres observations. Grâce à la différence moyenne standardisée (DMS) ils ont également observé un effet modéré pour les performances d'équilibre dynamique, en faveur de l'entraînement sur slackline par rapport à la condition de contrôle. Cependant la performance de transfert vers l'équilibre statique était faible et n'a pas atteint la signification statistique. La DMS est une statistique employée quand les études d'une méta-analyse évaluent le même résultat, mais le mesurent différemment.

La formation sur slackline semble suivre le principe de spécificité de la formation d'équilibre (31,33), c'est-à-dire que l'entraînement d'équilibre à court terme semble induire une nette amélioration de la performance des tâches formées, mais un effet limité sur les tâches non entraînées. Un manque d'effets importants dans les tâches non entraînées pourrait éventuellement réduire son aptitude à une utilisation générale, par exemple en prévention

des chutes. Cependant, la méta-analyse discutée précédemment est basée sur un nombre limité d'études et l'effet de la slackline sur la spécificité de la tâche reste à étudier plus en profondeur.

Nos résultats sont également à mettre en parallèle avec deux études réalisées sur des sujets sportifs. Elles n'ont pas été incluses dans la revue car elles ne répondaient pas à l'ensemble des critères d'inclusion.

Jäger et al. (97) ont comparé les changements de performance d'équilibre et de contrôle neuromusculaire entre l'entraînement à la slackline et le programme FIFA11+ chez 28 étudiants en bonne santé et sportifs. Ils ont eux-mêmes choisi s'ils voulaient faire partie du groupe d'entraînement à la slackline ou du groupe du programme FIFA11+. Ce dernier est conçu comme un programme d'échauffement en trois parties de 15 à 20 minutes qui comprend des exercices de course et d'étirements, des exercices axés sur la force du tronc et des jambes, l'équilibre et la pliométrie, ainsi que des exercices combinant course et agilité. Avant et après leurs 6 semaines de formation, leur contrôle postural a été évaluée par trois tests. Le premier test correspondait au « Star Excursion Balance Test » (SEBT) qui établit le contrôle postural dynamique, grâce à une étoile à 8 axes. Le deuxième test correspondait à la position sur une jambe les yeux fermés, sur surface instable (mousse). Le troisième test correspondait à l'appareil d'entraînement multifonctionnel S3-check (MFT S3-Check) (Figure 11). Il s'agit d'un appareil constitué d'une planche oscillante pouvant être inclinée jusqu'à 12° dans 4 directions : gauche/droite, avant/arrière. Il mesure les mouvements de la planche et calcule automatiquement « l'indice sensorimoteur ».

La déviation par rapport à la position horizontale est exprimée par « l'indice de symétrie ». La combinaison de ces deux facteurs donne « l'indice de stabilité ». Les valeurs de ces indices sont exprimées sur une échelle de 1 à 9, 1 signifiant « très bon » et 9 signifiant « très mauvais ». Lors du test, les participants devaient rester aussi immobiles que possibles, les mains sur les hanches, pendant 30 secondes.



Figure 11 : Appareil d'entraînement multifonctionnel S3-check

L'analyse statistique a révélé que les deux groupes présentaient une amélioration des performances aux trois tests après la période de formation. L'indice de stabilité au test MFT S3-Check était significativement différent entre les deux groupes, en faveur du groupe slackline. Ces résultats suggèrent que l'entraînement en slackline offre des améliorations de l'équilibre au moins similaires que le programme d'échauffement FIFA 11+.

Les deux groupes étaient similaires concernant les principaux indicateurs pronostiques, mais l'assignation non randomisée et l'absence de groupe contrôle représentent des limites.

La deuxième étude est celle de Trecroci et al. (98), dont l'objectif était d'évaluer les effets de l'entraînement à la slackline et de l'équilibre conventionnel sur la performance physique. La population était constituée de quarante-deux jeunes joueurs de football de niveau sous-élite (moyenne d'âge en années :  $11,24 \pm$  écart-type  $0,35$ ). Les sujets ont été assignés au hasard à un groupe témoin (CNT,  $n = 14$ ) et à deux groupes expérimentaux : l'entraînement à la slackline (SLT,  $n = 14$ ) et l'entraînement à l'équilibre traditionnel (BLT,  $n = 14$ ). L'intervention consistait en une formation de 12 semaines. Tous les sujets suivaient le programme hebdomadaire de football comprenant 4 séances de 90 min par semaine. Et en plus de celui-ci, les sujets du groupe SLT et BLT participaient à un entraînement à la slackline ou à l'équilibre traditionnel comprenant 2 sessions de 25 minutes par semaine. Dans le groupe SLT, l'entraînement à l'équilibre se réalisait sur une slackline de 7 m avec une largeur de 5 cm. Les exercices comprenaient une augmentation progressive de la difficulté avec des positions unipodale, tandem, et marche sur la slackline. Dans le groupe BLT, l'intervention s'inspirait de l'approche décrite dans l'étude de Page (99), mais les exercices étaient modifiés et adaptés aux jeunes joueurs de football. Ils étaient basés sur trois stades de progression (statique, dynamique et fonctionnel), en faisant varier les surfaces (stables ou instables). Le groupe CNT n'avait pas d'intervention.

Les participants ont réalisé deux tests avant et après l'intervention : le « Balance Error Scoring System » (BESS) et la version modifiée du « Star Excursion Balance Test » (MSEBT). Le BESS consistait en trois positions (bipodale, unipodale, et tandem) sur une surface stable (sol) et instable (coussin en mousse). La position unipodale devait se réaliser sur la jambe non dominante. Dans la position en tandem, le pied dominant des participants était placé devant

le pied non dominant, la pointe du pied au contact du talon de l'autre pied. Chaque position devait être maintenue pendant 20 secondes. Pendant ce temps, un examinateur comptabilisait le nombre d'erreurs. La somme du nombre total d'erreurs enregistrées, sur les surfaces stable et instable, fourni le score total BESS.

Le MSEBT présente un nombre réduit de directions à atteindre par rapport au « Star Excursion Balance Test » (100). Il se réalise sur une jambe et consiste à aller chercher le plus loin possible avec la jambe contro-latérale dans les directions antérieure, postéro-médiale et postéro-latérale. Tous les participants ont effectué trois essais dans chaque direction, pour les jambes droite et gauche. Les participants avaient pour consignes de garder leurs mains sur leurs hanches et de ne pas toucher le sol avec le pied libre. Un examinateur certifié a observé et noté tous les essais. Afin d'obtenir des données quantitatives sur la capacité d'équilibre dynamique, un score a été calculé : somme des meilleures distances dans les trois directions sur une jambe donnée, divisée par 3 fois la longueur de la jambe du participant, puis multipliée par 100. Le meilleur score a été pris en compte pour l'analyse.

Après analyse statistique, un changement significatif pour le score BESS a été retrouvé en fonction du temps dans les groupes INT et TRA par rapport au groupe CNT. De même, le score moyen MSEBT a changé de manière significative entre les tests avant et après intervention dans les groupes INT et TRA pour les membres droits, par rapport à CNT. Les auteurs concluent que l'entraînement à la slackline et l'entraînement à l'équilibre traditionnel ont eu des effets positifs similaires sur l'équilibre statique et dynamique.

## **6.2 Limites**

### **6.2.1 Limites des études**

La qualité méthodologique ayant été évaluée, l'ensemble des études incluses peuvent être considérées comme ayant une qualité méthodologique haute à modérer sur le score PEDro. Cette rigueur méthodologie, nous permet ainsi de faire état de ces résultats. Cependant, nous ne pouvons pas nous affranchir d'évaluer les limites et biais inhérents à chacune d'elles, nous obligeant à une interprétation prudente des résultats.

Premièrement, en ce qui concerne la population étudiée, nous pouvons remarquer que neuf études sur dix comportaient moins de 50 participants. La moyenne du nombre de participants par étude était de 29. Cela rend difficilement généralisables les résultats de ces études à la population générale puisqu'il existe un risque que l'échantillon de l'étude ne soit pas représentatif de cette population cible. Un effectif plus important permettrait d'augmenter la puissance de l'essai contrôlé et ainsi la confiance que l'on pourrait accorder à la généralisation des résultats.

Deuxièmement, en ce qui concerne l'intervention, quatre études ont été réalisées sur une durée de 4 semaines (65–67,69), cinq études sur 6 semaines (60,61,63,64,68), et seulement une étude sur 12 semaines (62). Or, les adaptations neuromusculaires induites par l'entraînement à l'équilibre dépendent du temps (51). En effet, la plupart des adaptations sont d'origine neurale au début de la formation, et probablement spécifiques à la tâche entraînées (101). Certains auteurs comme Donath (71) et Giboin (33) ont suggéré que l'émergence d'adaptations générales de l'équilibre, évaluées par l'amélioration des performances dans les tâches non entraînées, pourrait dépendre de la durée d'entraînement. Étant donné que la durée moyenne des interventions était d'environ 6 semaines, cela pourrait expliquer la spécificité de la tâche de la formation d'équilibre et le manque de transfert de tâche. Une revue de la littérature (55) recommande des périodes d'entraînement d'au moins 11 semaines, avec trois sessions (de 30 à 45 min chacune) par semaine.

Troisièmement, en ce qui concerne les mesures utilisées dans ces études, l'utilisation de tests pour lesquels la signification clinique est déterminée aurait été requise. En effet, il est essentiel de prendre en compte la différence entre la signification statistique et la signification clinique lorsqu'il s'agit de décider si le résultat d'une intervention justifie son utilisation lors d'une prise en charge. La signification clinique nous permet d'évaluer si l'ampleur de l'effet est assez grande pour entraîner un effet thérapeutique réel. Elle permet de déterminer si le traitement est cliniquement utile ou non (102).

### 6.2.2 Limites de la revue

Premièrement, la méthodologie de cette revue de la littérature possède plusieurs limites pouvant constituer un biais dans les résultats obtenus. En effet, seulement deux moteurs de recherche ont été utilisés, certains papiers ont donc pu échapper à notre connaissance. Dans un souci d'exhaustivité, nous aurions dû utiliser la base de données documentaire PEDro qui est spécifique à la kinésithérapie. De plus, les études incluses correspondent uniquement à des essais contrôlés randomisés (ECR). Cela exclut donc les autres types d'études qui auraient pu nourrir notre question de recherche. Bien qu'elles soient peu nombreuses, les revues systématiques sur le sujet auraient pu nous fournir des informations supplémentaires. Les études comportant un seul groupe ou sur trois groupes ont également été exclues.

Par ailleurs, une limite se situe dans la méthodologie employée pour le tri et la sélection des articles. Selon la grille d'évaluation AMSTAR, couramment utilisée pour évaluer la qualité méthodologique des revues systématiques de la littérature, la sélection des articles ainsi que l'extraction des données auraient dû être réalisées par deux opérateurs indépendants. D'autre part, nous avons utilisé la grille PEDro afin de mesurer la validité méthodologique des études incluses. En effet, le poids d'une étude dépend en partie de sa validité interne. L'analyse critique est importante pour mettre en évidence les biais susceptibles d'influencer les résultats de l'étude. Néanmoins, elle ne permet pas d'analyser la pertinence de l'essai. Cette méthode ne permet pas de démontrer l'intérêt clinique des conclusions d'une étude, même en ayant obtenu un score élevé sur l'échelle PEDro.

Deuxièmement, le contenu de la revue en elle-même possède également des limites. En effet, les différents outils d'évaluation entre les études constituent un biais dans l'élaboration d'une conclusion. De plus, aucune étude n'évoque la différence minimale cliniquement importante et nos recherches dans la littérature n'ont pas permis de la définir. En effet, comme expliqué précédemment dans la partie « 6.2.1.Limites des études », il serait important de voir quelle modification changera cliniquement la performance des sujets.

De plus, seuls les tests permettant de répondre à notre question de recherche ont été pris en compte. Certaines études incluses avaient plusieurs objectifs, dont certains ne correspondaient pas à notre problématique. D'autres critères d'évaluation étaient utilisés mais les résultats obtenus n'ont pas été traités dans cette revue. Par exemple certains essais ont évalué l'impact de l'entraînement à la slackline sur la force musculaire (60,62–64,66,67). D'autres ont évalué l'effort perçu lors de l'entraînement sur slackline, nous en discuterons dans la partie suivante. Nous avons déjà évoqué cette évaluation dans la partie « 2.2.6. La slackline dans un contexte de rééducation » du cadre conceptuel, à travers les études de Galet et al. (36) et Santos et al. (37).

### **6.3 Effort perçu**

Parmi les études incluses dans notre revue, des intérêts de la slackline différents de ceux traités dans notre problématique ont été évalués. Trois d'entre elles ont évalué l'effort perçu chez leurs participants. Elles ont utilisé l'échelle d'évaluation de l'effort perçu ou Rating of Perceived Exertion (RPE) développée par Borg (38).

En plus de celle-ci, l'évaluation locale de l'effort perçu (LRPE) a été utilisée. Il s'agit de l'échelle de Borg modifiée, qui estime l'effort perçu dans des parties spécifiques du corps, au niveau des muscles. Cette version modifiée de l'échelle de Borg a été validée par Nilsson et al. (103).

L'échelle RPE de Borg (Annexe 2 : Figure 12) correspond à une évaluation subjective qui permet de quantifier la contrainte perçue lors d'une activité physique (104). À partir de ses sensations, le sujet estime de façon subjective l'intensité relative d'une activité physique. Cette estimation fournit une bonne indication sur le degré de sollicitation de l'organisme de l'individu, c'est-à-dire du pourcentage d'effort qu'il effectue par rapport à sa capacité cardio-respiratoire maximale (105). Selon la HAS, l'échelle de Borg est l'échelle la plus utilisée à l'international (105). Elle estime l'intensité de l'effort sur une échelle de 6 à 20.

Borg a montré que pendant de longs intervalles de travail, la variation du taux de l'effort perçu était un indicateur sensible de l'épuisement (38).

Il a fait l'observation qu'au cours d'un exercice allant du repos à l'effort maximale, la fréquence cardiaque (FC) moyenne d'un groupe de jeunes actifs varie de 60 à 200 battements par minute (38).

Il est possible de relier la FC et le score au RPE grâce à l'équation :  $FC = 10 \times RPE$  (106). Les scores au RPE étant liés à la FC et à la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ), cette échelle est plutôt utilisée comme indicateur de charge physique générale (107).

Les échelles ont été expliquées à tous les participants avant le début de la formation sur slackline. Ils ont été invités à évaluer l'effort perçu à la fin de chaque session. Pour la LRPE, les participants ont reçu un diagramme anatomique montrant les vues antérieures et postérieures du corps.

Dans le document de référence (108), Borg standardise les informations délivrées aux participants afin de limiter les variations inter et intra individuelles. L'INRS (104) nous fournit une traduction littérale à partir de ce document (Annexe 3 : Figure 13).

Dans l'étude de Santos et al. (67), les judokas ont fait état d'un RPE global moyen de  $10,86 \pm 0,62$  pour l'ensemble du processus de formation. En ce qui concerne les LRPE, les participants ont indiqué le plus fréquemment les muscles ou parties du corps suivants : les mollets à 30,71%, les ischio-jambiers à 20,53% et les quadriceps à 18,74%.

Dans l'étude de Santos et al. (60), les joueuses de basketball ont signalé un EPR moyen de  $12 \pm 0,33$ . L'analyse du LRPE a révélé que les muscles ayant reçu les meilleures notes par les participants étaient : les quadriceps à 20 %, les soléaires à 18 % et les gastrocnémiens à 14 %.

Dans l'étude de Fernandez-Rio et al. (63), les joueurs de football ont déclaré un EPR moyen de  $12,82 \pm 1,39$  sur le programme de formation. Les données du LRPE ont révélé que les muscles cités comme les plus sollicités étaient : les quadriceps à 26,7 %, les gastrocnémiens à 14,81 % et le tibial antérieur à 12,57 %.

Dans les études de Santos et al. (60), et de Fernandez-Rio et al. (63), le programme d'entraînement de slackline a été évalué comme « assez difficile » par les sujets sportifs. Dans l'étude de Santos et al. (67), il a été évalué comme « facile » par les judokas. Trois types différents de sportifs ont estimé que le slacklining n'était pas un exercice « très difficile ». Nous pouvons imaginer qu'il pourrait être introduit dans un programme d'exercices d'équilibre sans engendrer d'épuisement. Plus important encore, les auteurs disent avoir observé que les sportifs considèrent que c'est une activité agréable, ce qui est important pour leur motivation et pour obtenir leur adhésion au projet thérapeutique.

Concernant le LRPE, les résultats ont montré que les quadriceps, les gastrocnémiens et les soléaires, les ischio-jambiers et le tibial antérieur étaient perçus par les sportifs comme les muscles les plus sollicités pendant le programme d'entraînement à la slackline. Nous pouvons nous demander si l'entraînement de slacklining engendre une amélioration de la force de ces muscles.

#### **6.4 Perspectives cliniques Masso-kinésithérapiques**

L'entraînement à la slackline semble induire des améliorations de l'équilibre spécifiques à la tâche formée, mais également des améliorations dans certaines tâches non entraînées lors du maintien de l'équilibre sur surface stable et instable. Néanmoins, nous pouvons nous demander si les améliorations retrouvées dans les résultats de certaines études sont synonymes d'une amélioration globale du contrôle postural afin de permettre la prévention des troubles de l'équilibre.

En effet, les changements induits par l'entraînement à la slackline pourraient ne pas être à eux seuls suffisants pour produire un effet préventif sur les chutes chez les personnes âgées et les blessures chez les sportifs. C'est pourquoi nous suggérons l'utilisation de l'entraînement à la slackline uniquement lorsqu'il est intégré à un programme multimodal d'exercices d'équilibre.

Lors d'une prise en charge MK dans le cas de troubles de la marche ou de l'équilibre, l'entraînement à la slackline pourrait être inclus avec les divers exercices utilisés lors du travail de l'équilibre postural statique et dynamique, afin de prévenir le risque de chutes.

Chez les sportifs, il pourrait être proposé en prévention secondaire, lors de la phase de retour au sport afin de limiter le risque d'une nouvelle blessure. Il pourrait également représenter une prévention primaire à travers une éducation thérapeutique dispensée au patient. Le slacklining ne semblant pas représenter un effort perçu comme « difficile », les sportifs pourraient ensuite l'intégrer dans leur routine d'entraînement spécifique, pendant la phase d'échauffement par exemple.

La prise en charge masso-kinésithérapique ce fait dans un contexte biopsychosocial qui doit considérer le patient dans sa globalité. Chaque patient est un sujet singulier qui perçoit la slackline à travers le prisme de l'histoire de vie qui est la sienne. Par exemple, cette pratique peut ne pas correspondre à un patient ayant la peur du vide. Il est nécessaire de considérer la balance bénéfique/risque et de faire le meilleur choix dans l'intérêt du patient.

La slackline présente plusieurs avantages comme sa simplicité d'accès, son coût abordable et ses nombreuses possibilités de réglages et d'exercices. Elle présente cependant des risques de chutes ou de peur ressentie par le patient. L'expertise du clinicien doit lui permettre d'adapter la difficulté, mais également la sécurité de la pratique, en faisant varier différents paramètres. Il est possible de modifier la hauteur de la slackline, sa tension, ou sa longueur afin d'adapter la pratique au niveau du sujet. Le praticien peut offrir un soutien au patient en lui apportant un point d'appui et en restant près de lui pour parer d'éventuels déséquilibres (cf Dossier d'Annexes : Vidéo 5). Il est également possible d'adapter l'environnement en disposant des tapis de sécurité attenant à la slackline ou bien en réalisant cette pratique sur slackrack entre des barres parallèles comme dans l'étude de Donath et al. (64). Dans l'étude de Thomas et Kalicinski (61), les auteurs font état de l'installation de deux cordes fixées à des rails au plafond pour pouvoir permettre aux participants de se tenir. Dans l'ensemble des études que nous avons eu l'occasion de lire, aucune ne mentionne la survenue d'accident ou de blessure en lien avec la pratique de la slackline.

## 7 Conclusion

Ce travail de recherche nous a permis de développer des connaissances sur la fonction d'équilibration. Il nous a également permis de prendre conscience de l'importance de la recherche dans notre profession. En effet, l'évolution perpétuelle des connaissances en Masso-Kinésithérapie doit nous inciter à remettre continuellement en question nos savoirs et nos pratiques via la littérature ou des formations.

Plus spécifiquement, ce travail visait à répondre en quoi le slacklining pouvait-il être un outil utilisé en Masso-Kinésithérapie de prévention des troubles de l'équilibre, sachant que c'est une pratique encore récente et peu étudiée.

Notre revue de la littérature a révélé que l'entraînement à la slackline semblait induire des améliorations de l'équilibre spécifiques à la tâche formée. Elle a aussi révélé des améliorations dans certaines tâches non entraînées lors du maintien de l'équilibre sur surface stable et instable. Cependant elle n'a pas permis de répondre entièrement à la problématique puisque nous pouvons nous demander si les améliorations retrouvées dans les paramètres de certains tests représentent une réelle amélioration des performances d'équilibre statique et dynamique.

D'autres études devraient être menées afin de comprendre pourquoi ces améliorations n'ont eu lieu que pour certaines des tâches non entraînées. En effet, nous pouvons nous demander si ces améliorations représentent réellement un transfert de compétences ou si elles pourraient être dues à un effet de conditionnement général induit par l'entraînement. Il est possible de penser qu'elles pourraient être la conséquence d'une adaptation neuromusculaire avec une amélioration de la capacité à produire de la force, en particulier par les muscles perçus par les sportifs comme les plus sollicités sur l'échelle LRPE.

Des études ont déjà été menées avec pour objectif de déterminer si la slackline entraînait une augmentation de la puissance musculaire. Elles évaluaient ses effets sur l'accélération, l'agilité et les performances de saut des participants.

## Références bibliographiques et autres sources

---

1. Balcom S. Walk the line : The Art of Balance and the Craft of SLACKLINE. Ashland: SlackDaddy Press. 2005.
2. Massion J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. Prog Neurobiol. janv 1992;38(1):35-56.
3. Paillard J. Tonus, postures et mouvements. Physiology. 1976;(3ème édition Paris : Flammarion):521-728.
4. Pozzo T, Berthoz A, Lefort L. Head stabilization during various locomotor tasks in humans: I. Normal subjects. Exp Brain Res [Internet]. août 1990 [cité 6 avr 2020];82(1). Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/BF00230842>
5. Duclos N, Duclos C, Mesure S. Contrôle postural : physiologie, concepts principaux et implications pour la réadaptation. EMC - Kinésithérapie-Médecine Phys-Réadapt. 2017;13:1-8.
6. Shumway-Cook A, Woollacott M. Motor control : theory and practical applications. Baltimore : Lippincott Williams and Wilkins. 1995.
7. Duclos C, Desjardins P, Nadeau S, Delisle A, Gravel D, Brouwer B, et al. Destabilizing and stabilizing forces to assess equilibrium during everyday activities. J Biomech. févr 2009;42(3):379-82.
8. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? Clin Rehabil. août 2000;14(4):402-6.
9. Lévêque M, Seidermann L, Ulmer E, Chays A. Physiologie vestibulaire : bases anatomiques, cellulaires, immunohistochimiques et électrophysiologiques. EMC - Oto-Rhino-Laryngol. janv 2009;4(3):1-14.
10. Eber A-M, Collard M. Troubles de l'équilibre et de la posture. EMC - Encycl Méd-Chir. 2002;(17-005-E-10):11.

11. Maki BE, McIlroy WE. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing*. 1 sept 2006;35(suppl\_2):ii12-8.
12. Bouchet V, Favier B. La slackline. Ufolep L'association Trees. avr 2014;
13. Didier R. La slackline : une pratique en mouvement [Internet]. 2015 [cité 4 mars 2020]. Disponible sur: [https://www.lejournalinternational.fr/La-slackline-une-pratique-en-mouvement\\_a2640.html](https://www.lejournalinternational.fr/La-slackline-une-pratique-en-mouvement_a2640.html)
14. ISA, International Slackline Association. [cité 25 oct 2019]; Disponible sur: <http://www.slacklineinternational.org/>
15. Summit-Day. La vie au bout des doigts [Internet]. [cité 4 avr 2020]. Disponible sur: <https://summit-day.com/la-vie-au-bout-des-doigts/>
16. DELEVOYE [Internet]. [cité 26 oct 2019]. Disponible sur: <https://www.ets-delevoye.fr/products/slackline/>
17. Junghannß S. Aki Slacklines [Internet]. [cité 25 oct 2019]. Disponible sur: <https://aki-slacklines.de/de/blog/festigkeiten-von-bandeinspannungen>
18. Slackimoufle 50m [Internet]. [cité 26 oct 2019]. Disponible sur: <https://slack-inov.com/fr/mouflages-et-systemes-de-tension/64-slackimoufle-50?#>
19. Décathlon [Internet]. [cité 26 oct 2019]. Disponible sur: <https://www.decathlonpro.fr/sports-outdoor-loisirs/plein-air/slackline.html>
20. Slack.fr, le site de référence consacré au slackline. [Internet]. [cité 26 oct 2019]. Disponible sur: <https://www.slack.fr/slack-disciplines.html>
21. LeParisien. Pour le Téléthon, il bat le record du monde de «slackline» à Paris [Internet]. [cité 6 janv 2020]. Disponible sur: <http://www.leparisien.fr/paris-75/telethon-il-bat-le-record-du-monde-de-slackline-a-paris-09-12-2017-7442973.php>
22. Paoletti P, Mahadevan L. Balancing on tightropes and slacklines. *J R Soc Interface*. 7 sept 2012;9(74):2097-108.

23. Hübner K, Binetti C, Hamilton DA, Stephan T, Flanagin VL, Linn J, et al. Structural and functional plasticity of the hippocampal formation in professional dancers and slackliners. *Hippocampus*. 2010;n/a-n/a.
24. Mildren RL, Zaback M, Adkin AL, Bent LR, Frank JS. Learning to balance on a slackline: Development of coordinated multi-joint synergies. *Scand J Med Sci Sports*. sept 2018;28(9):1996-2008.
25. van Dieën JH, van Leeuwen M, Faber GS. Learning to balance on one leg: motor strategy and sensory weighting. *J Neurophysiol*. 1 nov 2015;114(5):2967-82.
26. Trimble MH, Koceja DM. Effect of a Reduced Base of Support in Standing and Balance Training on the Soleus H-reflex. *Int J Neurosci*. janv 2001;106(1-2):1-20.
27. Taube W, Kullmann N, Leukel C, Kurz O, Amtage F, Gollhofer A. Differential Reflex Adaptations Following Sensorimotor and Strength Training in Young Elite Athletes. *Int J Sports Med*. déc 2007;28(12):999-1005.
28. Taube W, Gruber M, Gollhofer A. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol*. juin 2008;193(2):101-16.
29. Keller M, Pfusterschmied J, Buchecker M, Müller E, Taube W. Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scand J Med Sci Sports*. août 2012;22(4):471-7.
30. Serrien B, Hohenauer E, Clijsen R, Taube W, Baeyens J-P, Küng U. Changes in balance coordination and transfer to an unlearned balance task after slackline training: a self-organizing map analysis. *Exp Brain Res*. 2017;235(11):3427-36.
31. Kümmel J, Kramer A, Giboin L-S, Gruber M. Specificity of Balance Training in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. sept 2016;46(9):1261-71.
32. Giboin L-S, Loewe K, Hassa T, Kramer A, Dettmers C, Spiteri S, et al. Cortical, subcortical and spinal neural correlates of slackline training-induced balance performance improvements. *NeuroImage*. 15 nov 2019;202:116061.
33. Giboin L-S, Gruber M, Kramer A. Task-specificity of balance training. *Hum Mov Sci*. 1 déc 2015;44:22-31.

34. Gabel CP, Mendoza S. Slacklining for Lower Extremity Rehabilitation and Injury Prevention. *Int J Athl Ther Train*. juill 2013;18(4):14-9.
35. HAS. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux [Internet]. [cité 26 févr 2020]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf)
36. Gabel CP, Osborne J, Burkett B. The influence of « Slacklining » on quadriceps rehabilitation, activation and intensity. *J Sci Med Sport*. janv 2015;18(1):62-6.
37. Santos L, Fernandez-Rio J, Winge K, Barragán-Pérez B, Rodríguez-Pérez V, González-Díez V, et al. Effects of supervised slackline training on postural instability, freezing of gait, and falls efficacy in people with Parkinson's disease. *Disabil Rehabil*. 2017;39(16):1573-80.
38. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*. 1970;2(2):92-8.
39. Rutz DG, Benninger DH. Physical therapy for freezing of gait and gait impairments in Parkinson's disease: a systematic review. *PM R*. 29 janv 2020;
40. Verschueren SMP, Brumagne S, Swinnen SP, Cordo PJ. The effect of aging on dynamic position sense at the ankle. *Behav Brain Res*. nov 2002;136(2):593-603.
41. Haute Autorité de Santé. Recommandations pour la pratique clinique : Prévention des chutes accidentelles chez la personne âgée. HAS. nov 2005;
42. L. Sturnieks D, St George R, R. Lord S. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin Neurophysiol*. déc 2008;38(6):467-78.
43. Ambrose AF, Paul G, Hausdorff JM. Risk factors for falls among older adults: A review of the literature. *Maturitas*. mai 2013;75(1):51-61.
44. Bieć E, Giemza C, Kuczyński M. Changes in postural control between 13- and 19-year-old soccer players: is there a need for a specific therapy? *J Phys Ther Sci*. 2015;27(8):2555-7.
45. Institut de veille sanitaire (InVS). Épidémiologie des accidents traumatiques en pratique sportive en France. 6 oct 2015;

46. Institut de veille sanitaire (InVS). Accidents avec hospitalisation lors de la pratique d'une activité physique et sportive. Accidentés pris en charge en Côte-d'Or par les urgences entre avril 2008 et mars 2009 et étude de leur état de santé un an après.
47. Haute Autorité de Santé. Recommandations de bonnes pratiques professionnelles : Évaluation et prise en charge des personnes âgées faisant des chutes répétées. HAS. avr 2009;
48. Meeuwisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A Dynamic Model of Etiology in Sport Injury: The Recursive Nature of Risk and Causation: Clin J Sport Med. mai 2007;17(3):215-9.
49. Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, Vaes P, De Clercq D. Proprioception and Muscle Strength in Subjects With a History of Ankle Sprains and Chronic Instability. J Athl Train. déc 2002;37(4):487-93.
50. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Levenson G. Balance As a Predictor of Ankle Injuries in High School Basketball Players: Clin J Sport Med. oct 2000;10(4):239-44.
51. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review. J Athl Train. août 2010;45(4):392-403.
52. Organisation mondiale de la santé. Constitution. OMS; 1948.
53. Alain J, Jacques B, Hervé G. Décret n°96-879 du 8 octobre 1996 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute. [Internet]. Legifrance.gouv.fr. [cité 8 nov 2019]. Disponible sur: <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000195448>.
54. Sherrington C, Tiedemann A, Fairhall N, Close JCT, Lord SR. Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta-analysis and best practice recommendations. New South Wales Public Health Bull. 2011;22(4):78.
55. Lesinski M, Hortobágyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. Effects of Balance Training on Balance Performance in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. Sports Med. déc 2015;45(12):1721-38.
56. Dumez H. Faire une revue de littérature: pourquoi et comment? Libellio D'AEGIS Libellio D'AEGIS. 2011;(7):15-27.

57. Miller SA, Forrest JL. Enhancing your practice through evidence-based decision making: PICO, learning how to ask good questions. *J Evid Based Dent Pract.* oct 2001;1(2):136-41.
58. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med.* 21 juill 2009;6(7):e1000097.
59. Echelle PEDro [Internet]. [cité 26 févr 2020]. Disponible sur: <https://www.pedro.org.au/french/downloads/pedro-scale/>
60. Santos L, Fernández-Río J, Fernández-García B, Jakobsen MD, González-Gómez L, Suman OE. Effects of Slackline Training on Postural Control, Jump Performance, and Myoelectrical Activity in Female Basketball Players. *J Strength Cond Res.* mars 2016;30(3):653-64.
61. Thomas M, Kalicinski M. The Effects of Slackline Balance Training on Postural Control in Older Adults. *J Aging Phys Act.* 2016;24(3):393-8.
62. Giboin L-S, Gruber M, Kramer A. Three months of slackline training elicit only task-specific improvements in balance performance. *PloS One.* 2018;13(11):e0207542.
63. Fernández-Río J, Santos L, Fernández-García B, Robles R, Casquero I, Paredes R. Effects of Slackline Training on Acceleration, Agility, Jump Performance and Postural Control in Youth Soccer Players. *J Hum Kinet.* juin 2019;67:235-45.
64. Donath L, Roth R, Zahner L, Faude O. Slackline training and neuromuscular performance in seniors: A randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports.* mars 2016;26(3):275-83.
65. Pfusterschmied J, Buchecker M, Keller M, Wagner H, Taube W, Müller E. Supervised slackline training improves postural stability. *Eur J Sport Sci.* janv 2013;13(1):49-57.
66. Granacher U, Iten N, Roth R, Gollhofer A. Slackline training for balance and strength promotion. *Int J Sports Med.* oct 2010;31(10):717-23.
67. Santos L, Fernández-Río J, Fernández-García B, Due Jakobsen M. The effects of supervised Slackline Training on postural balance in judoists. *Med Dello Sport Riv Fisiopatol Dello Sport.* déc 2014;67(4):539-53.

68. Magon S, Donath L, Gaetano L, Thoeni A, Radue E-W, Faude O, et al. Striatal functional connectivity changes following specific balance training in elderly people: MRI results of a randomized controlled pilot study. *Gait Posture*. 2016;49:334-9.
69. Dordevic M, Hökelmann A, Müller P, Rehfeld K, Müller NG. Improvements in Orientation and Balancing Abilities in Response to One Month of Intensive Slackline-Training. A Randomized Controlled Feasibility Study. *Front Hum Neurosci*. 2017;11:55.
70. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. août 2003;83(8):713-21.
71. Donath L, Roth R, Zahner L, Faude O. Slackline Training (Balancing Over Narrow Nylon Ribbons) and Balance Performance: A Meta-Analytical Review. *Sports Med Auckl NZ*. juin 2017;47(6):1075-86.
72. Baloh RW, Ying SH, Jacobson KM. A Longitudinal Study of Gait and Balance Dysfunction in Normal Older People. *Arch Neurol*. 1 juin 2003;60(6):835.
73. Era P, Sainio P, Koskinen S, Haavisto P, Vaara M, Aromaa A. Postural Balance in a Random Sample of 7,979 Subjects Aged 30 Years and Over. *Gerontology*. 2006;52(4):204-13.
74. Perrin P, Deviterne D, Hugel F, Perrot C. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture*. avr 2002;15(2):187-94.
75. Davlin CD. Dynamic Balance in High Level Athletes. *Percept Mot Skills*. juin 2004;98(3\_suppl):1171-6.
76. Hrysomallis C. Balance Ability and Athletic Performance: *Sports Med*. mars 2011;41(3):221-32.
77. Balter SGT, Stokroos RJ, Akkermans E, Kingma H. Habituation to galvanic vestibular stimulation for analysis of postural control abilities in gymnasts. *Neurosci Lett*. août 2004;366(1):71-5.
78. Ashton-Miller JA, Wojtys EM, Huston LJ, Fry-Welch D. Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. mai 2001;9(3):128-36.

79. Keller M, Pfusterschmied J, Buchecker M, Müller E, Taube W. Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scand J Med Sci Sports*. août 2012;22(4):471-7.
80. Pfusterschmied J, Stöggl T, Buchecker M, Lindinger S, Wagner H, Müller E. Effects of 4-week slackline training on lower limb joint motion and muscle activation. *J Sci Med Sport*. nov 2013;16(6):562-6.
81. Kleindl R. *Slackline: die Kunst des modernen Seiltanzens ; [für Anfänger und Fortgeschrittene]*. 2. Aufl. Aachen: Meyer & Meyer; 2011. 151 p.
82. Miller F, Friesinger F. *Slackline*. Köngen: Panico Alpinverlag. 2009.
83. Bohannon RW. Single Limb Stance Times: A Descriptive Meta-Analysis of Data From Individuals at Least 60 Years of Age. *Top Geriatr Rehabil*. janv 2006;22(1):70-7.
84. Newton R. Review of tests of standing balance abilities. *Brain Inj*. déc 1989;3(4):335-43.
85. Springer BA, Marin R, Cyhan T, Roberts H, Gill NW. Normative Values for the Unipedal Stance Test with Eyes Open and Closed: *J Geriatr Phys Ther*. avr 2007;30(1):8-15.
86. Vellas BJ, Wayne SJ, Romero L, Baumgartner RN, Rubenstein LZ, Garry PJ. One-Leg Balance Is an Important Predictor of Injurious Falls in Older Persons. *J Am Geriatr Soc*. juin 1997;45(6):735-8.
87. Lundin H, Sääf M, Strender L-E, Nyren S, Johansson S-E, Salminen H. One-leg standing time and hip-fracture prediction. *Osteoporos Int J Establ Result Coop Eur Found Osteoporos Natl Osteoporos Found USA*. avr 2014;25(4):1305-11.
88. Vellas BJ, Rubenstein LZ, Ousset PJ, Faisant C, Kostek V, Nourhashemi F, et al. One-leg standing balance and functional status in a population of 512 community-living elderly persons. *Aging Clin Exp Res*. févr 1997;9(1-2):95-8.
89. Drusini AG, Eleazer GP, Caiazzo M, Veronese E, Carrara N, Ranzato C, et al. One-leg standing balance and functional status in an elderly community-dwelling population in Northeast Italy. *Aging Clin Exp Res*. févr 2002;14(1):42-6.
90. Ringsberg KAM, Gärdsell P, Johnell O, Jónsson B, Obrant KJ, Sernbo I. Balance and Gait Performance in an Urban and a Rural Population. *J Am Geriatr Soc*. janv 1998;46(1):65-70.

91. Goldberg A, Casby A, Wasielewski M. Minimum detectable change for single-leg-stance-time in older adults. *Gait Posture*. avr 2011;33(4):737-9.
92. Péninou G, Colné P, Thoumie P. La posture debout: biomécanique fonctionnelle, de l'analyse au diagnostic. 2019.
93. Winter D. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*. déc 1995;3(4):193-214.
94. Huurnink A, Fransz DP, Kingma I, van Dieën JH. Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks. *J Biomech*. avr 2013;46(7):1392-5.
95. Santos DA, Duarte M. A public data set of human balance evaluations. *PeerJ*. 2 nov 2016;4:e2648.
96. Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test–retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions – A systematic review of the literature. *Gait Posture*. oct 2010;32(4):436-45.
97. Jäger T, Kiefer J, Werner I, Federolf PA. Could Slackline Training Complement the FIFA 11+ Programme Regarding Training of Neuromuscular Control? *Eur J Sport Sci*. sept 2017;17(8):1021-8.
98. Trecroci A, Cavaggioni L, Lastella M, Broggi M, Perri E, Iaia FM, et al. Effects of traditional balance and slackline training on physical performance and perceived enjoyment in young soccer players. *Res Sports Med Print*. déc 2018;26(4):450-61.
99. Page P. Sensorimotor training: A “global” approach for balance training. *J Bodyw Mov Ther*. janv 2006;10(1):77-84.
100. Jagger K, Frazier A, Aron A, Harper B. SCORING PERFORMANCE VARIATIONS BETWEEN THE Y-BALANCE TEST, A MODIFIED Y-BALANCE TEST, AND THE MODIFIED STAR EXCURSION BALANCE TEST. *Int J Sports Phys Ther*. févr 2020;15(1):34-41.
101. Giboin L-S, Weiss B, Thomas F, Gruber M. Neuroplasticity following short-term strength training occurs at supraspinal level and is specific for the trained task. *Acta Physiol Oxf Engl*. 2018;222(4):e12998.

102. O'Brien BJ. Users' guides to the medical literature. XIII. How to use an article on economic analysis of clinical practice. B. What are the results and will they help me in caring for my patients? Evidence-Based Medicine Working Group. JAMA J Am Med Assoc. 11 juin 1997;277(22):1802-6.
103. Nilsson J, Csergö S, Gullstrand L, Tveit P, Refsnes PE. Work-time profile, blood lactate concentration and rating of perceived exertion in the 1998 Greco-Roman wrestling World Championship. J Sports Sci. janv 2002;20(11):939-45.
104. Meyer JP. Evaluation subjective de la charge de travail : Utilisation des échelles de Borg. Institut national de recherche et de sécurité (INRS), éditeur. sept 2014;(139):105-22.
105. Haute Autorité de Santé. Guide de promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé - chez les adultes. HAS. juill 2019;
106. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc. 1982;14(5):377-81.
107. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. Eur J Appl Physiol. janv 2013;113(1):147-55.
108. Borg G. Borg's Perceived exertion and pain scales. Champaign, IL: Human Kinetics; 1998. 104 p.

**Tableau III : Protocole de rééducation sur slackline**

| <b>Stade et étapes</b>                                     | <b>Position</b>   |
|--|---|
| <b>Stade 1 – Débutant : Debout</b>                         |   |
| 1  | Position sur une jambe – dominante  |
| 2  | Position sur une jambe – non dominante  |
| 3  | Sur jambe dominante – toucher derrière  |
| 4  | Sur jambe non dominante – toucher devant  |
| 5  | Sur jambe non dominante – toucher derrière  |
| 6  | Sur jambe dominante – toucher devant  |
| <b>Stade 2 – Modéré : Marche</b>                           |   |
| 1  | Marche avant  |
| 2  | Marche arrière  |
| 3  | Position tandem – jambe dominant derrière   |
| 4  | Position tandem – jambe dominant devant   |
| <b>Stade 3 – Intermédiaire : Tandem</b>                    |   |
| 1  | Position en tandem : tourner sur deux pieds vers le côté naturel avec l'avant non dominant                    |
| 2  | Position en tandem : tourner sur deux pieds vers le côté non naturel avec l'avant non dominant                |
| 3  | Position en tandem : tourner sur deux pieds vers le côté naturel avec une position dominante vers l'avant     |
| 4  | Position en tandem : tourner sur deux pieds vers le côté non naturel avec une position dominante vers l'avant |
| 5  | Position de surf en position latérale avec les pieds perpendiculaires à la slackline                          |
| <b>Stade 4 – Avancé : Squats</b>                           |   |
| 1  | Surfeur : Accroupissement en position latérale  |
| 2  | Squat en tandem dominant derrière   |
| 3  | Squat en tandem dominant devant   |
| 4  | Squat sur la jambe dominante  |
| 5  | Squat sur la jambe non dominante  |
| <b>Stade 5 – Extrême</b>                                   |   |
|  | Bras dans le dos. Yeux fermés. Rebondir   |
| <b>Stade 6 – Trucs et astuces : sauts et retournements</b> |   |
|  | Le talon se lève, marche sur les orteils, sauts, pirouettes   |
|  | Double tâche (par exemple, lancer une balle, jongler avec une balle)  |
|  | Rodéoline (sur une ligne très lâche) avec des oscillations  |

Annexe 2 : Rating of Perceived Exertion® développée par Borg (38)

---

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| <b>6</b>  | <b>No exertion at all</b> |
| <b>7</b>  | <b>Extremely light</b>    |
| <b>8</b>  | <b>Very light</b>         |
| <b>9</b>  | <b>Light</b>              |
| <b>10</b> | <b>Somewhat hard</b>      |
| <b>11</b> | <b>Hard</b>               |
| <b>12</b> | <b>Very hard</b>          |
| <b>13</b> | <b>Extremely hard</b>     |
| <b>14</b> | <b>Maximal exertion</b>   |
| <b>15</b> |                           |
| <b>16</b> |                           |
| <b>17</b> |                           |
| <b>18</b> |                           |
| <b>19</b> |                           |
| <b>20</b> |                           |

Figure 12 : Rating of Perceived Exertion®  
développée par Borg (35)

### Annexe 3 : Informations standardisées par Borg (108)

---

« Pendant l'effort, vous allez évaluer votre perception de l'effort grâce à cette échelle. Vous évaluez l'intensité de votre effort en référence aux différents adjectifs de l'échelle. Lisez cette échelle du début où la première valeur numérique signifie « *pas d'effort du tout* » à la fin où elle correspond à un « *effort maximal* ». Nous souhaitons que vous chiffriez votre perception de l'effort qui dépend principalement de la force développée, de la fatigue ressentie, de gênes physiques à l'exécution de la tâche, de douleurs musculaires ou de l'essoufflement que vous ressentez. Essayez d'évaluer votre sensation sans tenir compte d'éventuelles informations « objectives » sur les contraintes réelles. Ne les surestimez pas, ne les sous-estimez pas. Ne vous laissez pas influencer par d'autres. Regardez l'échelle, lisez les adjectifs puis donnez le chiffre qui leur est associé. »

Figure 13 : Traduction littérale des informations standardisées de Borg par l'INRS (104)