

# **Evaluation de l'efficacité d'un entraînement d'équilibre avec feedback visuel**

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de  
Master of Science en sciences du sport  
Option enseignement

déposé par  
**Amélie Cotter**

à  
l'Université de Fribourg, Suisse  
Faculté des sciences  
Département de médecine

en collaboration avec la  
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent  
Dr Jean-Pierre Bresciani

Conseiller / Conseillère  
Dr Amandine Dubois  
Dr Thibaut LeNaour

Fribourg, juin 2019

## Table des matières

Résumé.....	3
1 Introduction .....	4
1.1 Les forces .....	5
1.2 Equilibre statique et dynamique .....	7
1.3 Les systèmes sensoriels .....	7
1.4 L'entraînement .....	10
1.5 Les feedbacks .....	13
1.6 Objectif du travail.....	18
2 Méthode.....	19
2.1 Sujets .....	19
2.2 Condition expérimentale .....	19
2.3 Enregistrement expérimental.....	19
2.4 Procédure expérimentale .....	19
2.5 Préparation de la salle .....	20
2.6 Traitement et analyse des données .....	23
3 Résultats .....	25
3.1 Les participants .....	25
3.2 Vue générale des résultats .....	25
3.3 Résultats des t-tests .....	27
3.4 Résultats de l'Anova .....	30
4 Discussion .....	32
4.1 Est-il possible d'améliorer son équilibre avec six séances d'entraînement ? .....	32
4.2 Tous les exercices ont-ils été améliorés de la même manière ? .....	32
4.3 Quelles sont les différences entre les deux groupes ? .....	34
4.4 Un feedback visuel a-t-il une influence sur la performance ? .....	35
4.5 Limites et perspectives de l'étude .....	36
5 Conclusion.....	38
Bibliographie .....	39
Remerciements .....	46

## Résumé

**Introduction.** Dans la vie de tous les jours et à tout âge, l'équilibre est nécessaire. L'équilibre chez les personnes âgées ou avec un déficit postural est très étudié, mais il existe peu de recherches scientifiques concernant les jeunes adultes en bonne santé. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'effectuer des séances d'entraînement d'équilibre pour ce type de population. Les bénéfices de l'équilibre sont divers et intéressants pour tous. Afin d'optimiser les séances, un feedback visuel a été utilisé. En effet, les feedbacks ont prouvé leur importance dans le monde du sport mais pas uniquement dans ce domaine bien précis. Ils permettent d'améliorer la performance des sujets, d'accentuer leur motivation et leur envie de se dépasser. La rétroaction utilisée dans ce travail se présente sous la forme de deux lignes virtuelles projetées sur un écran.

**Objectif.** Cette étude permet d'évaluer dans un premier temps si l'équilibre est une capacité de coordination qui peut s'améliorer en six entraînements. Deuxièmement, elle permet de définir si un entraînement d'équilibre avec feedback visuel est plus efficace qu'un simple entraînement face à un écran blanc chez de jeunes adultes sains.

**Méthode.** Dans cette expérience, nous avons utilisé le laboratoire de capture de mouvement de Fribourg avec son système Optitrack. 17 sujets, âgés entre 18 et 35 ans, suivaient un entraînement de sept séances d'équilibre. Ils étaient divisés en deux groupes distincts : groupe avec feedback visuel et groupe contrôle. Le feedback visuel était constitué de deux lignes sur un écran qui représentaient les mouvements antéro-postérieurs et médio-latéraux. Lors de chaque séance, les sujets effectuaient tout d'abord un test comprenant quatre exercices, puis des exercices d'équilibre avec une variation progressive des surfaces d'appui.

**Résultats.** De manière générale, les sujets se sont améliorés, mais de façon non significative. Lors du t-test, nous avons obtenu une tendance par groupe. Pour le groupe contrôle, il s'agit de l'exercice 3, tandis que pour le groupe avec feedback visuel, il s'agit de l'exercice 4. Dans un deuxième temps, une ANOVA a été réalisée et aucun résultat significatif n'a été relevé. La  $p$ -value a été déterminée à 0,05.

**Conclusion.** Contrairement à l'hypothèse de recherche, le feedback visuel n'a pas amélioré les résultats de manière significative. Trop d'informations étaient présentes sur l'écran, le sujet se focalisait uniquement là-dessus oubliant son ressenti interne ce qui n'améliorait pas les résultats. Il faudrait trouver le juste milieu entre « donner trop d'information ou ne pas en donner assez ».

**Mots-clés.** Equilibre statique, entraînement, feedback visuel, jeunes adultes

# 1 Introduction

Le corps humain est constitué de muscles, d'articulations, d'os et d'une colonne vertébrale permettant à l'être humain de tenir debout (Vander, Sherman, Luciano & Brière, 1995). Ainsi, il vit en position bipède, ce qui n'est pas le cas de la plupart des autres mammifères (Taube, Gruber & Gollhofer, 2008). Cette posture est instable et demande un contrôle constant dans la vie de tous les jours (« Inserm », 2015 ; Choque, 2011). Pour cette raison l'être humain est continuellement en recherche de stabilité. Cette notion d'équilibre est omniprésente pour tout type de personnes et à tout âge (Hamman, Mekjavic, Mallinson & Longridge, 1992).

L'équilibre se définit comme l'aptitude à maintenir une position stable ou à la retrouver rapidement lors de mouvements (Choque, 2011 ; Birrer, Dannenberger, Strupler, Rüdisühli & Weber, 2009). Afin de garantir le maintien de la position, des ajustements posturaux ont lieu inconsciemment (Perrin & Lestienne, 1994). Cette capacité de coordination se travaille naturellement dès le plus jeune âge. Il faut compter sept ans pour qu'un enfant développe correctement les stratégies du contrôle de l'équilibre et qu'il mette en place des automatismes. Durant les deux premières années de sa vie, l'enfant développe des comportements moteurs rudimentaires. Il rampe, se maintient en position assise et verticale et débute l'acquisition de la marche. Puis de deux à sept ans, il acquiert des comportements moteurs fondamentaux. Durant toute cette période, il va fonder la base qui lui servira dans l'apprentissage de tout autre mouvement plus spécialisé. Il va ainsi courir, sauter à deux pieds, à un pied, grimper (Paoletti, 1999). Il est perpétuellement en recherche de solution pour maintenir son corps stable durant ses diverses activités. Ainsi, la plus grande partie du développement de l'équilibre a principalement lieu durant l'enfance (Taube et al., 2008; Choque, 2011). Jusqu'à l'âge de trente ans, ses capacités continuent d'augmenter. Puis, elles commencent progressivement à diminuer (« SUVALiv », s.d.). Plus l'individu devient âgé, plus le contrôle de l'équilibre se perturbe et les chutes se produisent. De nombreuses études reliant équilibre et vieillissement ont été réalisées prouvant le lien entre les diminutions de capacités et l'augmentation du nombre de chutes (Chen et al., 2018 ; Dault, de Haart, Geurts, Arts & Nienhuis, 2003 ; « Inserm », 2015 ; Choque, 2011). Mais grâce à un entraînement régulier, il est possible de ralentir ce phénomène naturel. Ce point sera développé dans le chapitre « entraînement » (« SUVALiv », s.d.).

L'équilibre est donc précieux dans le quotidien et pour toutes personnes. Or, dans les études, les sujets testés sont fréquemment des personnes avec un déficit de l'équilibre, telles que les personnes âgées ou ayant eu un accident cardio-vasculaire (Dault et al, 2003 ; Barcala et al., 2013). Peu d'études traitant d'adultes sains, sans déficit ou problème quelconque de santé, ont

été réalisées. Ce travail analysera l'impact d'un entraînement d'équilibre sur ce type d'individus.

### 1.1 Les forces

L'être humain est soumis à la force de pesanteur ou attraction terrestre. Lors de chacune de nos actions sur Terre, la pesanteur impacte nos mouvements. Cette force est proportionnelle à la masse du corps et attire la personne vers le bas. Afin de se maintenir debout, l'être humain fournit une activité musculaire dans le sens opposé. Le corps humain contient des muscles spécialisés pour ce genre d'action. Il s'agit des muscles extenseurs. Ils sont primordiaux pour lutter contre la gravitation. Ainsi ces deux forces, de pesanteur et l'activité musculaire, s'annulent et le maintien de l'équilibre est assuré. La résultante de toutes les forces de gravité passe en un point qui se nomme *centre de gravité* (Paoletti, 1999). Il se trouve au-dessus du bassin en position debout, statique, les bras le long du corps (Vander et al., 1995). Il se déplace en fonction des mouvements de notre corps et donc de la position de chaque segment corporel (Figure 1) (« SUVALiv », s.d. ; Paoletti, 1999).

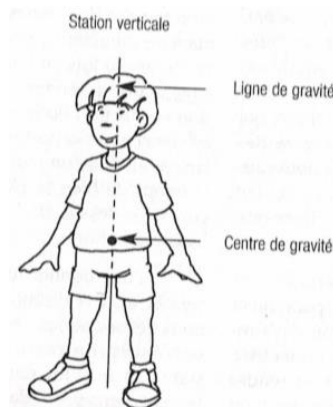
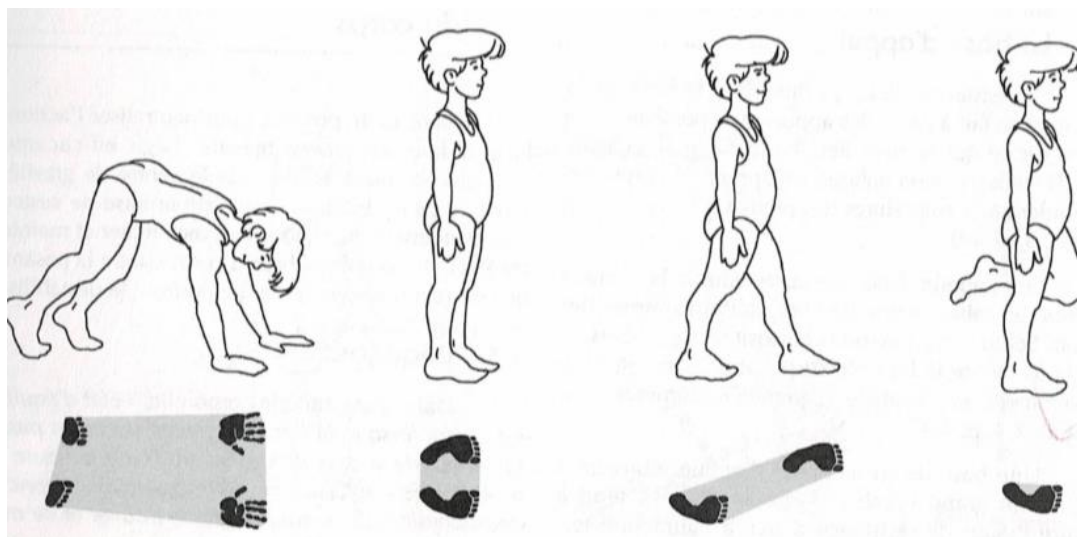


Figure 1. Centre de gravité du corps humain en position debout statique (Paoletti, 1999, p. 42).

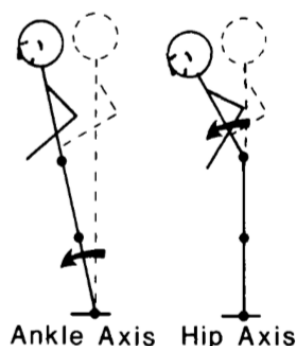
Pour maintenir son équilibre, la projection du centre de gravité doit rester dans une zone qui se nomme *le polygone de sustentation* (Figure 2) (Paoletti, 1999 ; Vallé, 2015 ; Vander et al., 1995). Il est défini comme la plus petite base dessinée en reliant chaque extrémité des points d'appui du corps. Lorsque l'individu est debout, les pieds font alors office de base et plus cette zone est étendue, plus la stabilité est améliorée (Vallé, 2015 ; Vander et al., 1995 ; « SUVALiv », s.d.).



*Figure 2. Différents polygones de sustentation en fonction des appuis au sol (Paoletti, 1999, p. 44).*

Si le centre de gravité sort de cette zone, le sujet se retrouve en situation de déséquilibre et risque de chuter (Vallé, 2015). Dans ce cas, il existe plusieurs stratégies pour lutter contre les perturbations et revenir dans le polygone de sustentation (Perrin & Lestienne, 1994 ; Park, Horak & Kuo, 2004).

- La première stratégie, celle de la cheville, est utilisée lors de faibles perturbations du corps sur le sol (Figure 3). Elle consiste à modifier l'inclinaison de la cheville pour retrouver un état d'équilibre (Winter, 1995).
- La seconde possibilité est la stratégie de hanche (Figure 3). Elle est nécessaire lors de plus grandes oscillations. Dans ce cas-ci, le mouvement de hanche permet de se maintenir debout (Winter, 1995).



*Figure 3. Stratégie cheville et stratégie hanche (Nashner & McCollum, 1985).*

- La dernière solution est le pas de rattrapage, il est utilisé en dernier recours si le sujet veut éviter la chute (Shumway-Cook & Horak, 1990). Il permet de modifier et d'élargir le polygone de sustentation et donc de faciliter le maintien de l'équilibre (Vander et al., 1995).

Il existe également des réflexes posturaux qui permettent à notre corps de rester stable, comme le réflexe d'étirement ou le réflexe d'extension croisée (Vander et al., 1995). Si l'une des deux jambes est fléchie, le poids du corps sera automatiquement déplacé sur la jambe tendue par le réflexe d'extension croisée. Chaque segment va se déplacer, afin de placer le centre de gravité sur la jambe tendue. Il est alors nécessaire pour maintenir la posture, tout comme l'est le réflexe d'étirement. Lorsque les genoux commencent à se plier, le réflexe d'étirement entre en jeu et implique une extension de la jambe (Vander et al., 1995).

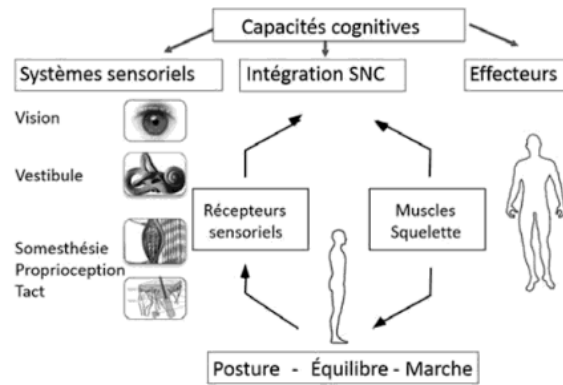
## **1.2 Equilibre statique et dynamique**

Il existe deux types différents d'équilibre : statique et dynamique.

- L'équilibre statique correspond au maintien d'une position sans déplacement ou déformation de la surface d'appui (Gschwind & Pfenninger, 2016 ; Paillard, 2016). Pour le tester, il suffit par exemple de tenir sur une jambe en bougeant le moins possible (Toulotte, Thévenon & Fabre, 2004).
- L'équilibre dynamique se caractérise par un déplacement et/ou une déformation de la surface d'appui (Gschwind & Pfenninger, 2016 ; Paillard, 2016). Au quotidien, la marche est un exemple typique d'équilibre dynamique (Choque, 2011 ; Hamman et al., 1992 ; « Inserm », 2015).

## **1.3 Les systèmes sensoriels**

Afin de se maintenir dans une position stable, de détecter tout mouvement, trois types de systèmes sensoriels sont nécessaires. Il s'agit du système visuel, du système somatosensoriel et du système vestibulaire qui régulent par conséquent le contrôle postural (Dault et al., 2003). Ils contiennent des récepteurs sensoriels qui permettent de faire le lien entre l'environnement et le système nerveux (Vander et al., 1995). Ces trois systèmes coopèrent et se complètent (Figure 4).



*Figure 4. Récapitulatif des composantes physiologiques de l'équilibre (Paillard, 2016, p. 40).*

La redondance informationnelle améliore la perception et permet d'informer précisément le système nerveux central de la situation. Ainsi le système musculosquelettique fournira une réponse appropriée (« Inserm », 2015).

Si l'un des systèmes est défectueux ou déficient, les deux autres prennent la relève et compensent le système manquant (Egger & Di Nuzzo, 2009). En effet, il est possible de tenir en équilibre avec les yeux fermés. Dans ce cas précis, le système somatosensoriel et vestibulaire travaillent pour combler le déficit (Egger & Di Nuzzo, 2009). Chaque personne a sa propre stratégie d'utilisation des informations sensorielles. Le contexte, l'environnement et les expériences influencent le comportement de chacun (« Inserm », 2015). Certains seront plus stables dans l'obscurité ou d'autres sur une surface instable (Lacour et al., 1996 ; « Inserm », 2015).

**1.3.1 Le système visuel.** Le système visuel a un rôle crucial pour l'équilibre. Il permet de s'orienter dans l'espace, d'éviter des obstacles et de prendre conscience de son environnement (Le Goïc, 2013). La vision est altérée pour les personnes âgées avec notamment une diminution du champ visuel et une perturbation de l'acuité. Ces changements sont des facteurs qui favorisent la chute (Choque, 2011). Le processus de ce système s'affaiblit à mesure que les personnes vieillissent. Chez une personne sans problème oculaire, l'image de l'objet regardé est projetée sur une surface nommée la rétine. Elle possède deux types de cellules photoréceptrices : les cônes et les bâtonnets. Les bâtonnets réagissent lorsque le niveau de luminosité est très faible et ces cellules sont extrêmement sensibles. Les cônes répondent quant à eux à une plus grande quantité de lumière (Vander et al., 1995).

Pour tenir en équilibre, la tête et les yeux doivent être coordonnés. En effet, la tête bouge continuellement. Pour cette raison, des mouvements oculaires permettant de contrôler et de



stabiliser le regard sont effectués inconsciemment par l'organisme (Perrin & Lestienne, 1994). Il existe des mouvements rapides, nommés également saccades et des mouvements lents. Ils permettent de balayer le champ visuel et de suivre des objets se déplaçant dans le champ visuel (Vander et al., 1995). De plus, le réflexe optocinétique et le réflexe vestibulo-oculaire contribuent à la stabilisation du regard (Perrin & Lestienne, 1994). Lorsqu'un individu court, sa tête ne reste pas immobile, pourtant l'image de son environnement est stable et il arrive à se maintenir en équilibre. Cela est possible grâce au réflexe vestibulo-oculaire qui se définit de la manière suivante : « il a pour but de stabiliser l'image visuelle sur la rétine pendant les mouvements de la tête grâce à des mouvements oculaires compensatoires » (Perrin & Lestienne, 1994, p. 73). Un autre type de réflexe est utile pour le maintien de la posture. Il s'agit du réflexe optocinétique qui « est constitué par une phase lente du regard qui compense le déplacement de l'environnement visuel. Ce mouvement lent est interrompu par une phase rapide de sens opposé, dite saccade de recentrage » (Perrin & Lestienne, 1994, p. 74).

Le système visuel avec ces mécanismes réflexes permet ainsi d'établir une carte visuelle stable de son environnement et d'élaborer des points de repère dans l'espace (Purves et al., 2015 ; Vallé, 2015).

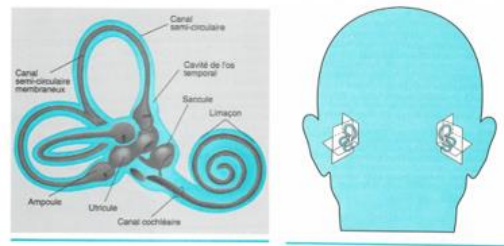
Il peut se diviser en deux types de vision : fovéale et périphérique. La vision fovéale correspond à la partie centrale (Le Goïc, 2013). Elle permet d'identifier et de localiser des objets, tandis que la vision périphérique représente la vision d'un champ plus large (Vallé, 2015). Elle est très importante, car elle permet de détecter et d'identifier un mouvement et de fournir une réponse motrice adaptée à la situation (Le Goïc, 2013).

**1.3.2 Le système somatosensoriel.** Ce système, très varié, comprend la sensibilité tactile ainsi que la proprioception (Purves et al., 2015). Les récepteurs sont situés dans la peau, les muscles, les tendons et les ligaments du corps, plus précisément dans les fuseaux neuromusculaires, les récepteurs articulaires et les organes tendineux de Golgi (Le Goïc, 2013 ; Vander et al., 1995). Ils nous informent de l'emplacement des parties du corps dans l'espace et de leurs sensations de mouvement (Vallé, 2015 ; Vander et al., 1995).

Un élément primordial dans ce système est la voûte plantaire. Elle contient de nombreux récepteurs (Le Goïc, 2013). Si le sujet vacille sur une jambe, les analyseurs de pression de la voûte vont directement donner l'information au système nerveux qui va agir pour maintenir un état stable. Une simple oscillation partant de la base du corps est détectée et immédiatement corrigée (Vander et al., 1995).

**1.3.3 Le système vestibulaire.** Ce système se situe dans l'oreille interne (Figure 5). Il informe en permanence le système nerveux central des mouvements du corps, de la position de la tête et de son orientation par rapport à la verticale (Le Goïc, 2013 ; Choque, 2011). Ainsi, le cerveau peut adapter sa gestuelle pour maintenir un état stable (Choque, 2011).

Le système vestibulaire est composé des organes otolithiques (sacculé et utricule) et de trois canaux semi-circulaires remplis de liquide et de cellules ciliées (Vander et al., 1995) (Image 5).

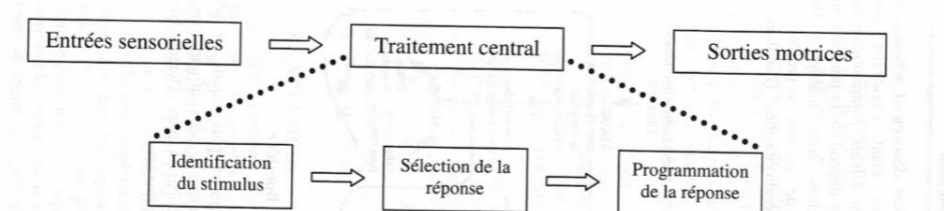


*Figure 5. Anatomie du système vestibulaire (Vander et al., 1995, p. 249-250).*

Les accélérations linéaires sont détectées par la sacculé et l'utricule, tandis que les accélérations angulaires, comme notamment la rotation de la tête, sont perçues par les canaux semi-circulaires (Vallé, 2015). La détection de mouvement ou le changement de vitesse sont repérés par des cils, qui sont présents dans toutes les parties du système vestibulaire (Vander et al., 1995).

## 1.4 L'entraînement

La capacité de coordination qu'est l'équilibre peut s'entraîner, tout comme la force, la vitesse ou encore la réaction. L'apprentissage peut se résumer en trois étapes (Figure 6) : les entrées sensorielles, le traitement central et les sorties motrices (Bonnet & Bonnet, 2008). Le traitement dans le système nerveux central se divise en trois parties. Premièrement, le stimulus est identifié. Une fois identifié, la réponse est sélectionnée puis programmée.



*Figure 6. Les différentes étapes de l'apprentissage moteur (Bonnet & Bonnet, 2008, p. 17).*

Des adaptations dans les trois systèmes sensoriels vus précédemment et dans les systèmes moteurs impliqués dans le contrôle de l'équilibre sont induites par un entraînement régulier (Taube et al., 2008). Des exercices ciblés permettent un processus d'apprentissage plus rapide. Le traitement des informations sera par conséquent de meilleure qualité et permettra une réponse motrice adaptée plus rapidement (Kienle & Meyer, 2005). Ce processus fonctionne pour tous : patients, enfants, personnes âgées, sportifs ou sédentaires. Effectivement, tout le monde peut prétendre à une amélioration de cette capacité (Taube et al., 2008 ; Yaggie & Campbell, 2006).

**1.4.1 Les bases pour construire un entraînement dans le sens expérimental.** Différentes règles sont à suivre pour optimiser son entraînement.

- L'entraînement doit être adapté aux besoins et à la condition physique de chacun.
- Le principe de continuité est également à respecter. La régularité dans les séances nous permet d'avoir de meilleures conditions expérimentales et de suivre l'amélioration des sujets. C'est pour cette raison qu'Hamman et al. (1992) exigent à leur sujet de venir à la même heure lors de chaque séance. Il faut également respecter une période suffisante de régénération (Hegner, 2013). En règle générale, le nombre de séances varie entre trois et quatre par semaine afin de laisser une pause suffisante aux sujets. Granacher, Gollhofer et Kriemler (2010) ont opté pour quatre semaines d'entraînement avec trois séances hebdomadaires de 30 minutes. Keller, Lauber, Gehring, Leukel et Taube (2014) ont préféré quatre semaines avec deux sessions de 90 minutes par semaine. Barcala et al. (2013) ont quant à eux défini cinq semaines d'entraînements avec deux séances d'équilibre de 30 minutes hebdomadaire.
- L'accroissement progressif et la variation de la charge sont nécessaires afin d'optimiser un travail continu de l'organisme et d'éviter la monotonie (Hegner, 2013 ; Pfenninger, Brunner & Frey, 2016).
- En ce qui concerne le contenu de la séance, les exercices varient énormément d'une littérature à l'autre (Taube et al., 2008). Il est possible d'entraîner son équilibre sur une jambe, deux jambes, sur un support instable ou avec les yeux fermés (Taube et al., 2008 ; Heitkamp, Horstmann, Mayer, Weller & Dickhuth, 2001). Néanmoins, il a été prouvé qu'une séance sur une surface instable demande plus d'énergie au sujet pour se maintenir en équilibre mais cela sera plus efficace (« Exercices sur une surface instable », s.d.; Taube et al., 2008).

- Pour tirer des bénéfices d'un entraînement, une durée minimale d'exercice est nécessaire. Selon les études, le temps de maintien varie également. Dos Anjos, Lemos et Imbiriba (2016) demandent de tenir en équilibre durant 60 secondes chaque condition. Lakhani et Mansfield (2015) ont opté pour une durée de 35 secondes. Enfin, Dault et al. (2003) ont fixé la durée à 45 secondes. Les trois études présentées ont été réalisées avec un groupe de jeunes adultes.

**1.4.2 Les bénéfices d'un entraînement d'équilibre.** Travailler son équilibre peut être bénéfique dans plusieurs domaines. Traditionnellement, cela est utilisé en réhabilitation et physiothérapie (Taube et al., 2008). Des études ont également démontré des bénéfices pour la prévention des blessures (Myklebust et al., 2003) et la prévention des chutes chez les personnes âgées (Taube et al., 2008).

En outre, un entraînement d'équilibre est positif pour améliorer les performances des sportifs de haut niveau pour plusieurs raisons. Il permet tout d'abord d'améliorer leur performance en équilibre (Taube et al., 2008). Il impacte également la force (Heitkamp et al., 2001), la puissance explosive (Gruber & Gollhofer, 2004) et les performances de saut (Taube et al., 2008). De plus, il permet d'égaleriser les déséquilibres musculaires entre les deux jambes (Heitkamp et al., 2001). Cette capacité de coordination est donc utile pour les sportifs.

De manière plus générale, les personnes pratiquant une activité physique travaillent leur équilibre de façon inconsciente. Par exemple, lors de chaque entraînement, un joueur effectue sans s'en rendre compte des passes en prenant appui sur un pied, puis sur l'autre. Il travaille ainsi son équilibre. Cette faculté de coordination se retrouve dans tous les sports. Une étude a effectivement démontré que les personnes pratiquant une quelconque activité physique obtiennent de meilleures performances d'équilibre et cela peu importe le niveau du sportif (« Inserm », 2015).

**1.4.3 Activités favorisant l'équilibre.** De nos jours, certains sports se sont développés et ont prouvé leurs bienfaits pour le maintien de la posture. Le Tai Chi, la gymnastique ou le yoga en sont des exemples. Ces activités demandent une position particulièrement stable du corps pour exécuter les exercices (Asseman, Caron & Crémieux, 2008 ; « Inserm », 2015).

Jusqu'à présent, l'équilibre pur a été abordé dans ce document. Or, dans la plupart des études réalisées, les exercices d'équilibre sont associés à des exercices de force, des traitements médicaux ou des exercices de renforcement musculaire (Taube et al., 2008 ; Nelson, Rejeski,

Blair, Duncan & Judge, 2007 ; « Inserm », 2015). Il existe effectivement de multiples manières d'entraîner l'équilibre et d'obtenir des effets positifs sur l'organisme.

Il ne faut également pas négliger que dans la vie quotidienne une tâche d'équilibre s'effectue dans la plupart des cas en même temps qu'une autre action, ce qui se nomme *dual task*. En effet, lorsqu'une personne marche, elle peut par exemple discuter avec quelqu'un. Il y a une tâche posturale qui, dans ce cas, serait le fait de marcher et une tâche cognitive en l'occurrence celle de parler avec quelqu'un. L'être humain doit alors être capable de partager ses ressources attentionnelles pour pouvoir effectuer ces deux tâches simultanément (Li et al., 2010 ; « Inserm », 2015). Chez l'adulte en bonne santé, le maintien de la posture demande peu d'effort, il peut alors se concentrer sur la tâche cognitive (Teasdales, Bard, Larue & Fleury, 2007 ; « Inserm », 2015). En effet, le contrôle postural est un mécanisme inconscient qui est régi par des réflexes et des boucles de contrôle automatiques (Kolb, Lachauer, Diener & Timmann, 2001 ; « Inserm », 2015). Le *dual-task* est alors une excellente façon de travailler son équilibre. Il existe d'autres méthodes pour travailler son équilibre tels que les feedbacks, développés dans le chapitre suivant.

**1.4.4 Autres facteurs à prendre en considération lors d'exercices d'équilibre.** Mis à part le design de l'étude, un autre facteur peut entrer en considération et modifier la performance. De nombreuses études ont été réalisées sur la stabilité et les facteurs psychologiques comme l'anxiété et la peur. Ces derniers ont un effet non négligeable sur le comportement humain et peuvent ainsi modifier les performances. Des expériences ont démontré qu'une tâche effectuée en hauteur ne donne pas les mêmes résultats que si cette tâche est réalisée au sol. Les facteurs psychologiques sont donc des notions importantes à ne pas négliger. En effet, la difficulté d'une tâche peut être perçue différemment entre chaque sujet et peut influencer les résultats. Selon les émotions ressenties de chacun, la performance peut être détériorée ou améliorée (Adkin, Frank, Carpenter & Peysar, 2002 ; Huffman, Horslen, Carpenter & Adkin, 2009 ; « Inserm », 2015).

## **1.5 Les feedbacks**

Un feedback, outil récent pour optimiser un entraînement, permet de donner à l'apprenant un retour sur l'action effectuée. Bien souvent, en donnant un feedback, le résultat obtenu du sujet est comparé avec le résultat souhaité ou le résultat de référence (Dault et al., 2003 ; Schmidt, 1993). Avec cette méthode, le retour sensoriel est augmenté. En effet, l'individu reçoit une information supplémentaire qui va l'aider à s'améliorer (« Inserm », 2015). L'utilisation de ce genre de méthode favorise la motivation chez les sujets (Wulf, Shea & Lewthwaite, 2010).

L'envie de faire mieux et de dépasser ses limites sont des notions souvent associées à l'utilisation des feedbacks (Keller et al., 2014). L'intensité de l'entraînement est alors augmentée par rapport à un entraînement traditionnel sans feedback (Barcala et al., 2013).

**1.5.1 Différents types de feedbacks.** Différents types de feedback existent : tactile, visuel, proprioceptif ou encore auditif (Alahakone & Senanayake, 2010). Ils peuvent également être catégorisés en deux autres types distincts : intrinsèque et extrinsèque. Le feedback intrinsèque correspond à toutes les informations supplémentaires relatives au corps du sujet, tandis que le feedback extrinsèque renseigne le sujet avec un élément extérieur au corps (Schmidt & Lee, 2005). Feedback augmenté est un nom différent pour définir le feedback extrinsèque (Geurts, De Haart, Van Nesa & Duyens, 2005). Des recherches ont été effectuées afin de définir le meilleur type d'informations pour optimiser la performance. Il a été prouvé qu'un feedback extrinsèque permet une meilleure efficacité qu'un feedback intrinsèque (Anjos, Lemos & Imbiriba, 2016). En effet, focaliser son attention sur un élément extérieur à son propre corps est positif. Autrement dit, utiliser un focus externe est plus pertinent qu'utiliser un focus interne (Wulf, Hoss & Prinz, 1998). De plus, une étude a démontré que plus la distance entre le focus et le corps était éloignée, meilleure était la performance (McNevin, Shea & Wulf, 2003).

Le feedback pourrait se catégoriser également selon le moment où il est donné. Il peut être transmis soit lorsque l'apprenant réalise la tâche en temps réel ou alors à la fin du mouvement en différé. Ces moments différents peuvent être bénéfiques pour le sujet (Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien & Bogaerds, 1997 ; Ranganathan & Newell, 2009).

**1.5.2 Les feedbacks visuels.** Ce type de rétroaction a été analysé lors de l'expérience de ce travail. Cette forme de feedback permet au sujet de mieux prendre conscience de son corps dans l'espace. Le participant reçoit en temps réel des informations visuelles supplémentaires qui lui permettent d'adapter sa posture (Dault et al., 2003). Le feedback visuel le plus communément utilisé est la projection du centre de gravité sur un écran grâce aux informations fournies par une plateforme de force (Duarte & Zatsiorsky 2002 ; Dault et al., 2003 ; Cawsey, Chua, Carpenter & Sanderson, 2009). Il a été démontré que la visualisation de son centre de gravité permet de réduire le balancement corporel (Hamman et al., 1992). De nombreuses études ont été réalisées avec des personnes ayant un déficit postural (Barcala et al., 2013 ; « Inserm », 2015 ; Barclay-Goddard, Stevenson, Poluha, Moffatt & Taback, 2004 ; Dault et al., 2003). En ce qui concerne les personnes saines, sans problème physique, les changements ne seraient pas significatifs selon Brandt, Krafczyk et Malsbenden (1981). En effet, ils l'expliquent de la

manière suivante : « Le pourcentage d'amélioration par l'entraînement dépend de la quantité d'instabilité initiale ». Effectivement, le taux de balancement étant très bas dès le départ pour les personnes saines, il est donc difficile de s'améliorer significativement. Hamman et al. (1992) le prouvent en utilisant un feedback visuel avec une représentation du centre de pression. Le but des sujets était de maintenir ce point visuel dans la cible projetée en face d'eux. Hamman et al. (1992) n'ont pas trouvé d'amélioration significative. Au contraire, une autre étude prouve que les jeunes adultes peuvent améliorer leur équilibre (Dault et al., 2003).

Après avoir différencié les résultats des personnes saines de celles avec un déficit postural, une question se pose : existe-t-il une variation de performances entre les femmes et les hommes ? En ce qui concerne cette différenciation, rien de significatif n'a été prouvée (Stribley, Albers & Tourtellotte, 1974).

En reprenant de manière générale ce qui a été dit jusqu'à présent, le feedback visuel aide à la performance pour les personnes avec un quelconque déficit impliquant une déficience en équilibre (Keller et al., 2014 ; Hopper, Anders, Berg, Andersen & Madan, 2003), tandis que pour les sujets jeunes en bonne santé physique, certaines études ont trouvé des améliorations et d'autres n'ont révélé aucun résultat (Hamman et al., 1992 ; Dault et al., 2003).

Afin d'optimiser les entraînements, des recherches ont été faites avec des programmes moins onéreux que des plateformes de force. Ainsi tout un chacun pourrait s'entraîner sans devoir se rendre dans un laboratoire et utiliser du matériel spécifique. Plusieurs études ont été faites avec le programme Wii Fit de Nintendo, jeu vidéo permettant d'effectuer divers sports face à sa télévision. Ce système permet d'obtenir facilement des informations sur son centre de gravité, celles-ci étant affichées sur l'écran de la télévision. Les mouvements réels du sujet sont projetés sur l'écran sous forme virtuelle. Des études ont démontré une meilleure motivation des sujets et une amélioration significative de la tâche. Cela permet d'effectuer une activité ludique tout en gardant un objectif thérapeutique (Barcala et al., 2013 ; « Inserm », 2015).

La technologie a été encore plus loin dans la façon de donner des feedbacks visuels. Sur l'écran, un avatar en trois dimensions est représenté. Le corps entier est projeté. Chaque mouvement du corps est coordonné avec ce personnage (« Inserm », 2015). Ce type de rétroaction a prouvé ses bienfaits dans plusieurs études (Roosink et al., 2015).

Analysons encore une autre méthode de feedback visuel : l'utilisation de lignes. Dans ce cas, le centre de gravité n'est pas représenté par un point, mais par une ligne horizontale et une autre verticale. Cette dernière représente le mouvement médial-latéral, tandis que la ligne horizontale fournit des informations sur le mouvement antéro-postérieur. De chaque côté de ces deux lignes, une marge de 5% est dessinée. Le but pour le sujet était de rester le plus proche possible

des lignes du milieu et de ne jamais dépasser les marges dessinées de chaque côté (Chen et al., 2018). Dans ce cas-ci, le feedback était accompagné de stimulation électrique. Les résultats ont démontré que cette technique était bénéfique avec des sujets âgés (Chen et al., 2018).

Lakhani et Mansfield (2015) ont également utilisé une ligne pour fournir un feedback visuel lors d'une tâche d'équilibre pour de jeunes adultes. Leur test a duré deux jours. Les sujets devaient se maintenir debout sur une surface instable face à un écran. Devant eux était affiché une ligne horizontale représentant les mouvements antéro-postérieurs. Ils ont décidé de représenter uniquement cette direction, afin de réduire la complexité du feedback et de permettre aux sujets de se concentrer sur une seule information. Les résultats n'ont démontré aucune amélioration significative. Ce type de feedback a entraîné une instabilité chez les participants. Donker, Roerdink, Greven et Beek (2007) expliquent que le feedback visuel diverte le sujet et une partie de l'attention n'est pas utilisée pour contrôler l'équilibre, tout comme dans les tâches de *dual-task*. Ceci va dans le sens des résultats de Lakhani et Mansfield (2015).

Dans ce travail, des lignes sont également utilisées. Le processus est simplifié par rapport à l'étude de Chen et al. (2018). Uniquement deux lignes sont affichées sur l'écran du laboratoire, aucune marge n'est représentée et aucune stimulation électrique n'est effectuée. Une deuxième différence entre l'étude de Chen et al. (2018) et celle-ci concerne la population. En 2018, les sujets étaient des personnes âgées, tandis que dans le cas présent, les participants sont de jeunes adultes en bonne santé physique. Par rapport à l'étude de Lakhani et Mansfield (2015), une ligne représentant les mouvements médio-latéraux a été rajoutée. De plus, les exercices de ce test n'étaient pas de tenir simplement debout sur une surface instable, mais des tâches plus complexes. Pour finir, notre étude s'est effectuée sur trois semaines et non pas sur deux jours comme celle de Lakhani et Mansfield (2015).

**1.5.3 Effets des feedbacks.** Toutes ces techniques ont été démontrées comme positives pour la performance. Un feedback est utile pour améliorer une performance motrice (Lauber & Keller, 2012). Mais il existe également des points négatifs à cette utilisation. Le fait de toujours s'entraîner ainsi peut créer une dépendance aux feedbacks. Le sujet peut devenir dépendant et ne plus savoir comment agir si le feedback n'est plus présent (Wulf & Shea, 2004). L'utilisation trop fréquente de rétroaction nous démontre que les sujets oublient d'écouter leur corps et se concentrent uniquement sur l'extrinsèque (Salmoni, Schmidt & Walter, 1984). Cette hypothèse est très controversée. Par exemple, Keller et al. (2014) ont étudié l'impact des feedbacks sur une performance de drop-jump et leurs fréquences. De cette étude, il ressort que les sujets



recevant un feedback lors de chaque saut (100%) étaient plus performants que ceux ayant un feedback chaque deux sauts (50%) ou ceux qui n'en avaient pas du tout (0%).

Ces résultats se contredisent, mais Wulf, Shea et Matschiner (1998) ont démontré qu'il faut adapter la fréquence du feedback au niveau de complexité de la tâche. Plus l'exercice est compliqué, plus la fréquence doit être haute pour permettre l'amélioration.

Pour que le feedback amène des améliorations, il faut premièrement que sa fréquence soit adaptée et qu'il fournisse des informations correctes pour le sujet. En effet, Landers et al. (1981) ont démontré que l'utilisation d'un feedback incorrect diminue la performance motrice. De plus, la surabondance d'informations peut également perturber le sujet. Ainsi, il ne sait plus où focaliser son regard et cela perturbe sa performance (Chua & Schaaf, 2003). En outre, un feedback non-adapté peut également démotiver la personne (Baumeister, Hutton & Cairns, 1990).

## **1.6 Objectif du travail**

L'objectif de ce travail était d'analyser l'efficacité d'un entraînement d'équilibre chez un groupe de jeunes adultes. Deux groupes ont été définis :

- 1) Le groupe contrôle
- 2) Le groupe avec feedback visuel.

Lors de chacun des entraînements, le groupe « avec feedback visuel » avait des informations projetées devant lui qui lui permettaient de voir en direct sa stabilité. Le feedback était représenté par deux lignes sur l'écran qui permettaient d'observer les oscillations médio-latérales et antéro-postérieures.

Le groupe « contrôle » évoluait, quant à lui, sans aucune information visuelle supplémentaire. Quatre exercices différents ont été mesurés pour évaluer l'efficacité d'un entraînement d'équilibre.

De cette situation, il découle les questions suivantes :

- a) Est-il possible d'améliorer son équilibre avec six séances d'entraînements ?
- b) Tous les exercices ont-ils été améliorés de la même manière ?
- c) Quelles sont les différences entre les deux groupes ?
- d) Un feedback visuel a-t-il une influence sur la performance ?

Pour l'analyse scientifique, nous avons déterminé l'hypothèse suivante :

H0 : Un feedback visuel ne permet pas d'augmenter sa performance en équilibre.

H1 : Un feedback visuel permet d'augmenter sa performance en équilibre.

De cette problématique, il découle la question suivante : quel type d'entraînement permet un meilleur rendement quant au travail de l'équilibre ?

## **2 Méthode**

### **2.1 Sujets**

17 sujets ont été nécessaires au bon déroulement de cette étude. Pour pouvoir y participer, ils devaient être âgés entre 18 et 35 ans et être en bonne santé mentale et physique. On comptait dix hommes et sept femmes. Nous avons réparti les participants en deux groupes distincts. Le premier représentait notre groupe contrôle ( $n=8$ ) avec simplement un entraînement d'équilibre face à un écran blanc, tandis que le deuxième groupe avait un feedback visuel lors de ses entraînements ( $n=9$ ).

Lors de la première séance, tous les sujets ont été informés du déroulement de l'étude. Les conditions de l'expérience ont été lues et approuvées par chacun. Chaque volontaire nous a informé de son poids, sa taille et de ses activités physiques hebdomadaires. Nous avons répondu à toutes leurs interrogations avant de pouvoir commencer les tests dans des conditions adéquates.

### **2.2 Condition expérimentale**

Afin de voir les effets de l'entraînement, le sujet avait l'obligation de venir à sept séances. Seulement trois entraînements par semaine étaient autorisés. Il fallait également respecter vingt-quatre heures de pause entre chaque séance. Les six premières séances duraient une heure et la dernière une vingtaine de minutes.

### **2.3 Enregistrement expérimental**

Pour ces tests, le laboratoire de Fribourg était à notre disposition. Les séances ont eu lieu dans deux petites salles ; une salle pour la préparation du sujet et une deuxième équipée de 16 caméras et d'un projecteur où le sujet effectuait tous les exercices d'équilibre.

Nous avons utilisé l'Optitrack (16 caméras) et son application Motive pour analyser les mouvements en trois dimensions de manière très précise.

### **2.4 Procédure expérimentale**

La même procédure a été utilisée lors de chaque séance. Tout d'abord, la salle devait être préparée avant l'entrée du sujet. Le sujet arrivait, se préparait et effectuait un test. Jusqu'à cette étape, tous les sujets effectuaient exactement le même rituel. Seule la dernière partie différait

d'un groupe à l'autre. Il s'agissait de la séance d'entraînement d'équilibre à proprement parler qui était propre à chaque groupe.

## 2.5 Préparation de la salle

Avant de débiter l'expérience, la salle devait être calibrée. Il fallait également enlever tous marqueurs, objet fluorescent ou parasite de la salle de test. Ensuite, nous pouvions débiter la calibration des caméras Optitrack.

**2.5.1 Préparation du sujet.** Dès l'arrivée du sujet à l'arrière du laboratoire, celui-ci enfilait une combinaison noire (pantalon, veste, gants, chaussures et bonnet). Quarante-et-un marqueurs étaient répartis de façon similaire chez tous les sujets (Figure 7). Tous les membres du corps étaient couverts sauf les doigts. Les données ainsi récoltées ont permis d'analyser l'équilibre et les mouvements de chacun, mais également de produire le feedback pour le groupe concerné.

Une fois équipé, le sujet entraînait dans le laboratoire. Il se plaçait en position T pour que l'application *Motive* puisse créer et calibrer le squelette virtuel de l'apprenant (Figure 7).

Avant de commencer l'étape suivante, il effectuait un petit échauffement comprenant les exercices suivants :

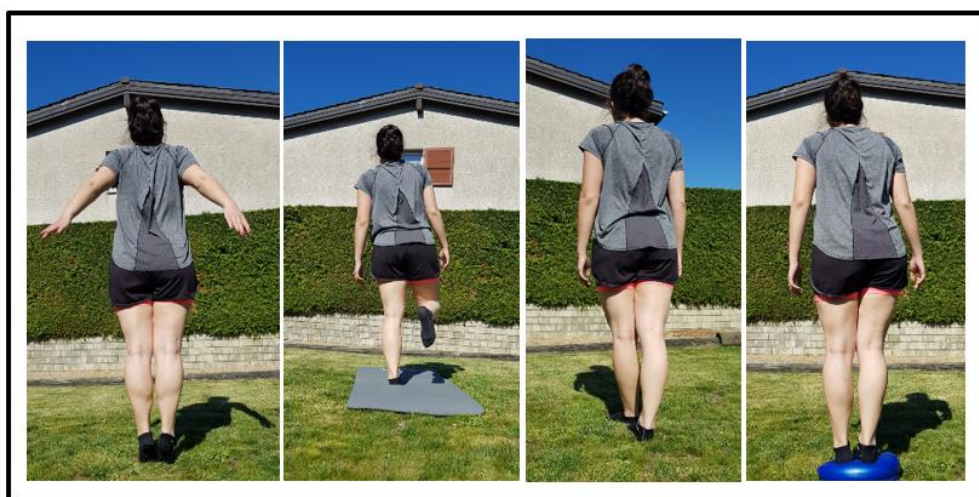
- Etirer les bras
- Tourner cinq fois le bassin
- Lever cinq fois les genoux vers la poitrine
- Tenir sur chaque pied
- Tenir sur la demi-sphère avec les deux pieds.



Figure 7. Sujet en position T avec 41 capteurs répartis sur le corps.

**2.5.2 Test.** Une fois la préparation terminée, le test pouvait débuter. Quatre exercices ont été choisis afin d'évaluer les sujets : l'envol sur la pointe des pieds, tenir sur une jambe sur un tapis mousse, tandem avec les yeux fermés et pieds joints sur la demi-sphère. Ces quatre exercices sont représentés en Figure 8. Le but consistait à tenir la position quarante secondes en bougeant le moins possible. L'ordre des exercices était aléatoire pour chaque sujet, afin d'éviter de créer un éventuel biais expérimental.

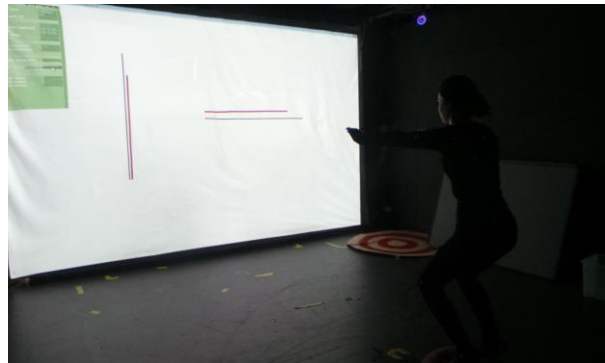
Lors de la première séance, il s'agissait d'un pré-test permettant de définir le niveau initial de chacun. Les séances suivantes, les mêmes exercices ont été effectués et enregistrés afin de suivre l'évolution des performances. Lors de la dernière séance, ces mêmes exercices ont été réalisés une dernière fois. Nous appelons cette séance le post-test. Ces données nous ont permis d'examiner si le sujet s'est amélioré ou non en les comparant au pré-test.



*Figure 8.* Démonstration des quatre exercices effectués lors des tests (de gauche à droite) : Position de l'envol sur la pointe des pieds (sol), Tenir sur sa jambe préférée (mousse), Tandem les yeux fermés (sol), Pieds joints (demi-sphère).

**2.5.3 Séance d'entraînement.** Suite au pré-test, la séance d'entraînement pouvait débuter. Pour cette partie, chaque groupe avait des conditions différentes, tandis que la suite d'exercices était identique pour les deux groupes. Le groupe contrôle effectuait l'entraînement face à un écran blanc. Par contre, le deuxième groupe bénéficiait d'un feedback visuel. Les participants avaient face à eux un écran avec deux lignes noires (Figure 9). La verticale représentait les mouvements du corps de droite à gauche, c'est-à-dire les oscillations médio-latérales. La deuxième ligne était horizontale et correspondait aux vacillations vers l'avant et l'arrière, les mouvements antéro-postérieurs. Le but de chacun était de rester le plus proche et parallèle aux deux lignes

noires de référence. Les sujets voyaient en direct le moindre mouvement de déséquilibre représenté par une ligne rouge.



*Figure 9.* Représentation du feedback visuel en laboratoire.

Pour cette partie, cinq exercices ont été choisis. Chaque exercice était répété deux fois trente secondes, avec trente secondes de pause entre chaque exercice et série. Nous commençons avec « tenir sur une jambe », « position de l’envol sur la pointe des pieds », « posture de l’arbre », « position de la chaise sur la pointe des pieds », « Dancer Pose ». On alternait un exercice sur une jambe puis un exercice sur les deux jambes.

Afin d’augmenter progressivement la difficulté au fur et à mesure des entraînements, la surface évoluait. Les deux premières séances ont été effectuées sur le sol et ensuite sur le tapis mousse. Les deux suivantes ont été exécutées sur le tapis mousse puis sur le trampoline et pour les deux dernières, sur le trampoline puis sur la demi-sphère. Une représentation des exercices d’entraînement est présentée dans la Figure 10. Le Tableau 1 donne un récapitulatif de chaque séance.



Figure 10. Démonstration des cinq exercices d'entraînement (de gauche à droite sur la première ligne) : Sur une jambe, Position de l'envol sur la pointe des pieds, Posture de l'arbre, Position chaise sur la pointe des pieds, Dancer Pose. La deuxième ligne représente les différents engins pour varier les difficultés (de gauche à droite) : Sol, Tapis mousse, Trampoline et Demi-sphère.

Tableau 1

Récapitulatif du déroulement des sept séances

Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Séance 5	Séance 6	Séance 7
Préparation salle + sujet	Préparation salle + sujet	Préparation salle + sujet	Préparation salle + sujet	Préparation salle + sujet	Préparation salle + sujet	Préparation salle + sujet
Pré-test	Test	Test	Test	Test	Test	Post-test
Entrainement 1. Sol 2. Tapis	Entrainement 1. Sol 2. Tapis	Entrainement 1. Tapis 2. Trampoline	Entrainement 1. Tapis 2. Trampoline	Entrainement 1. Trampoline 2. Demi-sphère	Entrainement 1. Trampoline 2. Demi-sphère	

Note. Le tableau 1 montre les différentes phases de la séance et différencie les engins utilisés lors de la phase d'entraînement.

## 2.6 Traitement et analyse des données

Toutes les données quantitatives ont été récoltées par le système Optitrack et son application *Motive*. L'analyse statistique a été réalisée ensuite par le programme R studio 4 version 1.1.447 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Lors de cette expérience, plusieurs variables ont été déterminées. Les variables dépendantes sont les valeurs d'oscillation autour du centre de gravité des quatre exercices effectués lors du pré et du post-test. Les variables indépendantes sont les groupes et le type d'exercice.

Pour les tests statistiques, uniquement les valeurs du pré et du post-test ont été analysées. De plus, nous avons sélectionné les dix meilleures secondes parmi les quarante secondes

d'enregistrement. Dans un premier temps, des t-tests ont été effectués afin de comparer les résultats des pré et des post-test de chaque exercice et de chaque groupe. Deuxièmement une Anova a été réalisée, afin de définir les différences entre les deux groupes, celles entre les quatre exercices et analyser les interactions entre ces deux variables.  $p > 0.05$  a été défini comme seuil de significativité.



### 3 Résultats

#### 3.1 Les participants

Tableau 2

*Caractéristiques moyennes concernant les sujets*

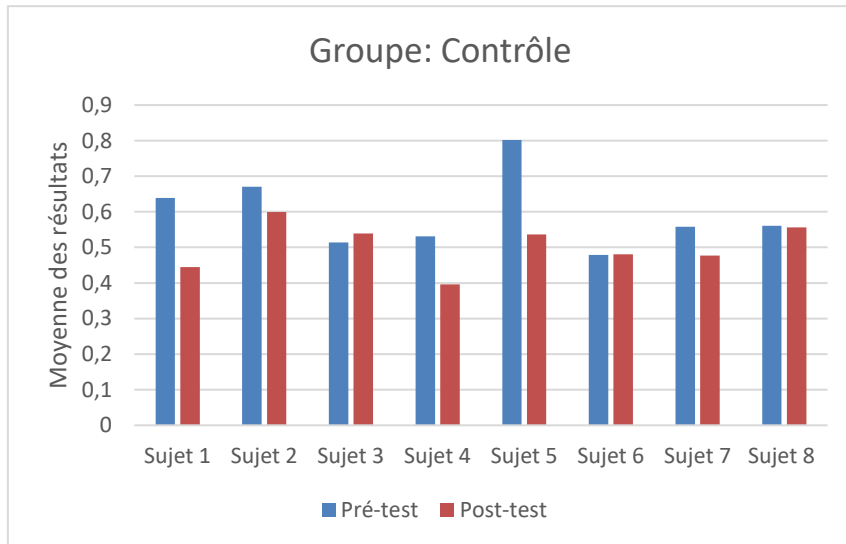
	Condition: Contrôle	Condition: Feedback visuel
<b>Nombre de sujets</b>	8	9
<b>Âge moyen [ans]</b>	24,8 ( $\pm 1,3$ )	23,7 ( $\pm 2,3$ )
<b>Taille moyenne [cm]</b>	176,63 ( $\pm 8,78$ )	173,33 ( $\pm 14,12$ )
<b>Poids Moyen [kg]</b>	71,25 ( $\pm 12,68$ )	66,22 ( $\pm 19,17$ )

*Note.* Le tableau 2 représente le nombre de sujets, l'âge moyen, la taille moyenne et le poids moyen des sujets dans les différents groupes ainsi que les écarts-types.

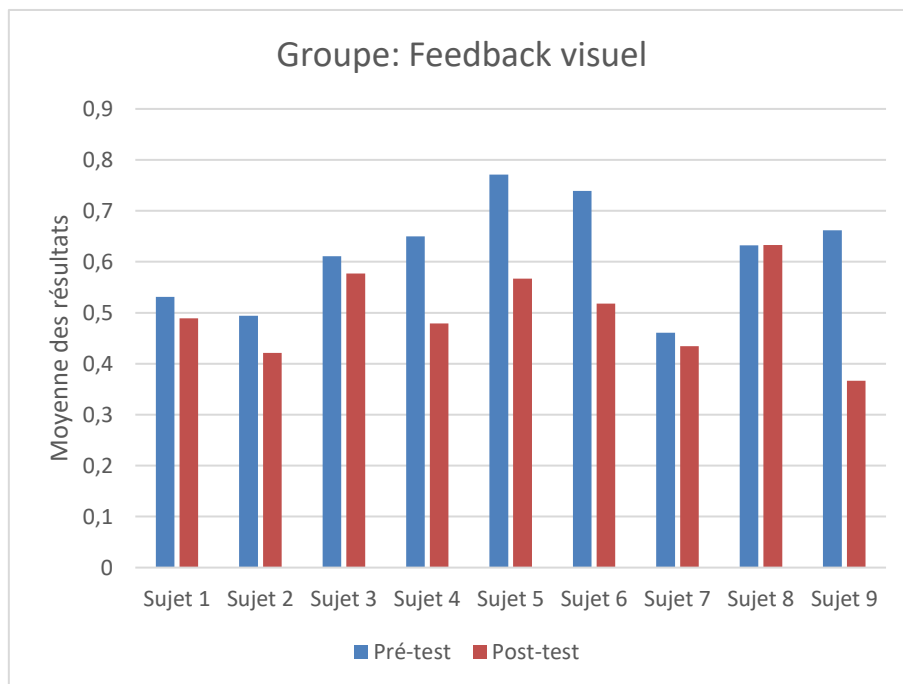
En ce qui concerne les sujets, 17 personnes ont participé à notre étude. Elles ont été divisées en deux groupes, un de neuf participants et un autre de huit. Dans le groupe « feedback visuel », quatre femmes et cinq hommes étaient présents et dans le groupe contrôle, trois femmes et cinq hommes participaient à l'expérience. Le Tableau 2 nous informe de l'âge, de la taille et du poids moyen des sujets.

#### 3.2 Vue générale des résultats

Les valeurs récoltées représentaient l'écart type sur dix secondes de test. Plus la valeur se rapprochait de zéro, meilleure était la performance. Uniquement les données du pré et du post test de chaque sujet ont été prises en compte pour l'analyse statistique. Les résultats obtenus pour les deux groupes sont représentés aux figures 11 et 12.



*Figure 11.* Moyenne des résultats du pré et post test pour chaque sujet dans le groupe contrôle.



*Figure 12.* Moyenne des résultats du pré et du post test pour chaque sujet du groupe avec feedback visuel.

### 3.3 Résultats des t-tests

Dans un premier temps, étant donné que les données étaient paramétriques et que les variances étaient homogènes, nous avons réalisé des t-test. Dans le Tableau 3 et 4, la valeur t a été définie et également la p-value pour chacun des groupes avec  $p > 0.05$  défini comme seuil de significativité. Dans le groupe contrôle, seulement l'exercice 3 donnait un résultat significatif ( $p = 0,029$ ). Une tendance a également été découverte pour l'exercice 2 de ce groupe ( $p = 0,053$ ). Dans le groupe avec feedback visuel, un seul résultat était significatif, il s'agissait de l'exercice 4 avec  $p = 0,012$  et l'exercice 3 affiche également une tendance avec un  $p$  de 0,056. Nous avons ensuite effectué la correction de Holm, afin de voir l'effet de celle-ci sur la significativité des exercices. Mais elle ne donne lieu à aucun résultat significatif. Dans les Figures 13 à 16, les boxplots sont représentés.

Tableau 3

*Résultats pour le groupe contrôle*

Variable	Valeur de $t$	$p$ -Value	Significativité
Exercice 1 : <i>Envol sur pointe des pieds (sol)</i>	$t = 0,73288$	$p = 0,4874$	Non
Exercice 2 : <i>Tenir sur une jambe (tapis)</i>	$t = 2,3263$	$p = 0,0529$	Non
Exercice 3 : <i>Tandem avec les yeux fermés (sol)</i>	$t = 2,742$	$p = 0,02882$	Oui – Non (avec la correction de Holm)
Exercice 4 : <i>Pieds joints (sphère)</i>	$t = 0,71945$	$p = 0,4952$	Non

*Note.* Représentation de la valeur t, de la p-value et de la significativité pour chaque exercice du pré et post test du groupe contrôle.

Tableau 4

Résultats pour le groupe « feedback visuel »

Variable	Valeur de $t$	$p$ -Value	Significativité
Exercice 1 : <i>Envol sur pointe des pieds (sol)</i>	$t = 1,5261$	$p = 0,1655$	Non
Exercice 2 : <i>Tenir sur une jambe (tapis)</i>	$t = 1,4117$	$p = 0,1957$	Non
Exercice 3 : <i>Tandem avec les yeux fermés (sol)</i>	$t = 2,2377$	$p = 0,05563$	Non
Exercice 4 : <i>Pieds joints (sphère)</i>	$t = 3,2528$	$p = 0,01165$	Oui – Non (avec la correction de Holm)

Note. Représentation de la valeur  $t$ , de la  $p$ -value et de la significativité pour chaque exercice du pré et post test du groupe avec feedback visuel.

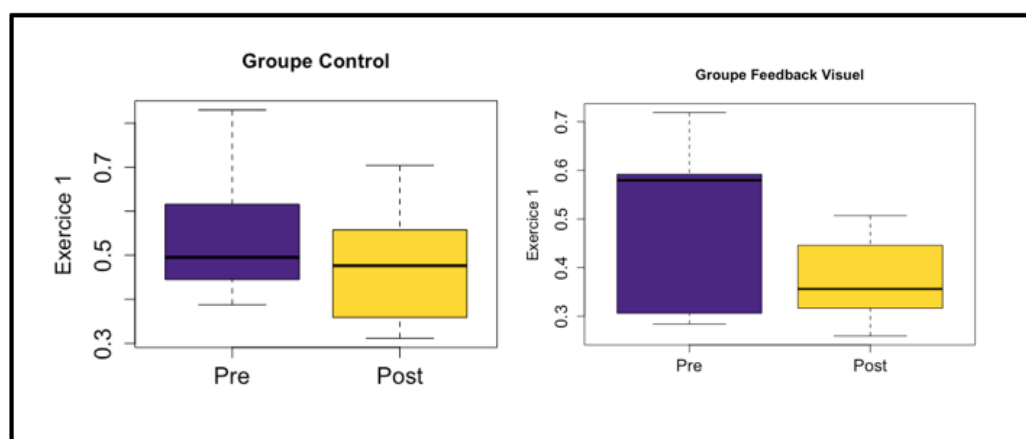


Figure 13. Représentation graphique du pré et post test pour l'exercice 1 dans les deux groupes. L'exercice 1 est la position de l'envol sur la pointe des pieds au sol.

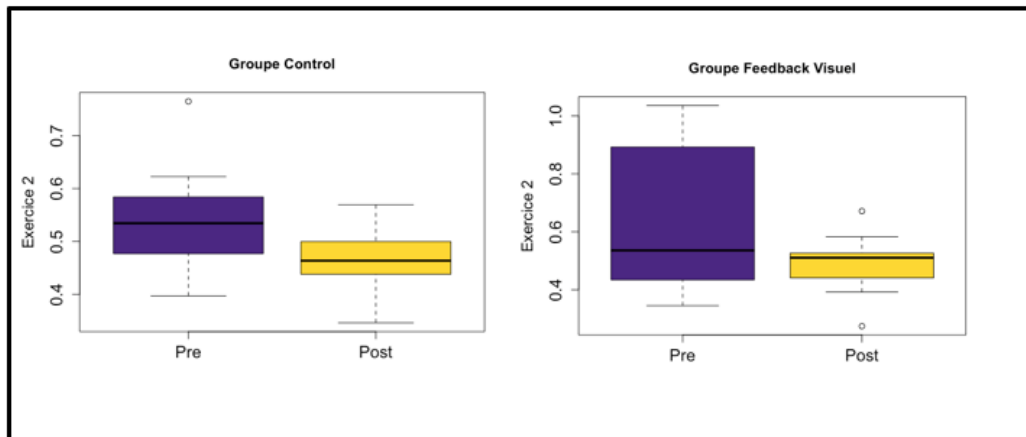


Figure 14. Représentation graphique du pré et post test pour l'exercice 2 dans les deux groupes. L'exercice 2 consiste à tenir sur sa jambe préférée sur un tapis en mousse.

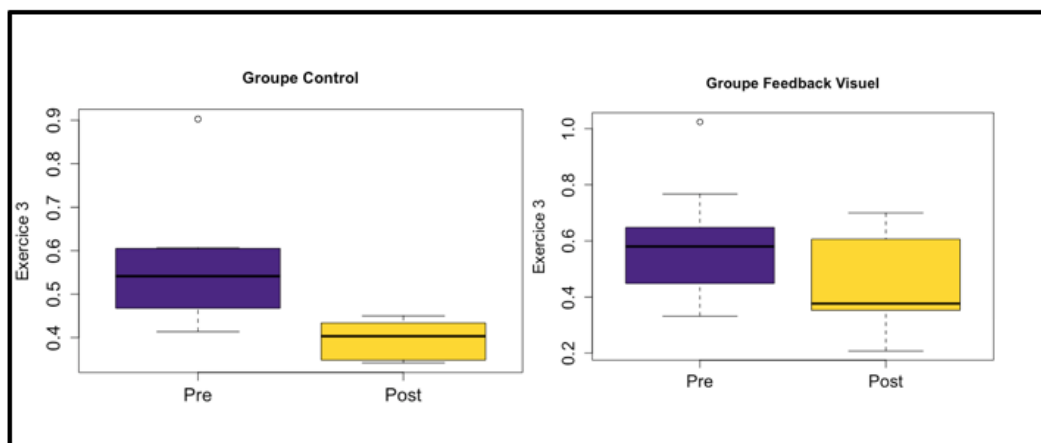


Figure 15. Représentation graphique du pré et post test pour l'exercice 3 dans les deux groupes. L'exercice 3 consiste à tenir en position tandem au sol avec les yeux fermés.

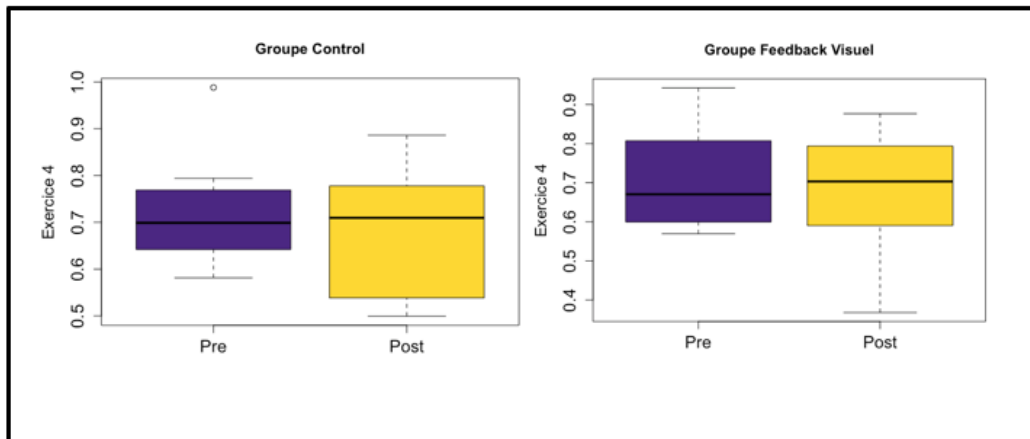


Figure 16. Représentation graphique du pré et post test pour l'exercice 4 dans les deux groupes. L'exercice 4 consiste à tenir les pieds joints sur une demi-sphère.

### 3.4 Résultats de l'Anova

Dans un deuxième temps, nous avons effectué une Anova sur la progression. Nous avons donc fait une soustraction : “les valeurs du post-test - les valeurs du pré-test”. La p-value est de 0,588. Aucun résultat significatif n’a été trouvé. Les graphes de la Figure 17, 18 et 19 représentent les résultats.

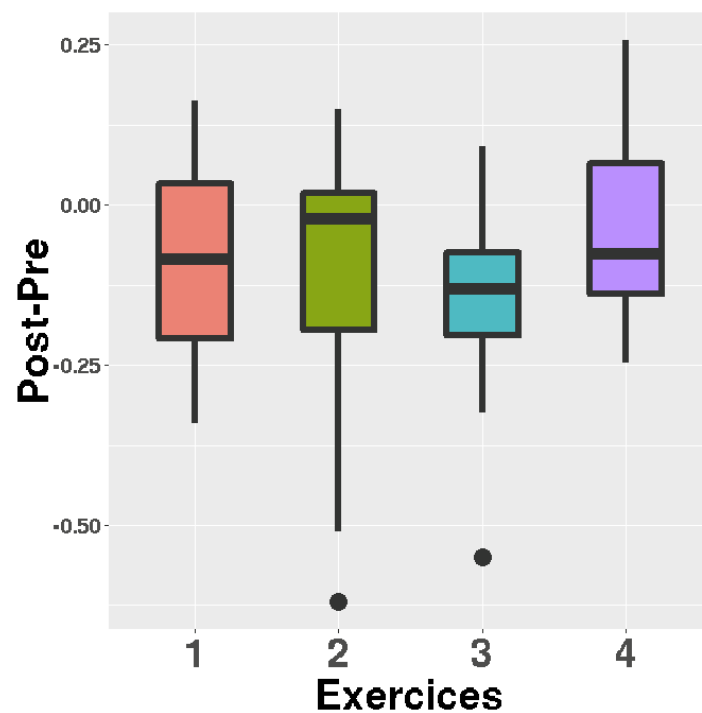


Figure 17. Résultats selon les quatre exercices.

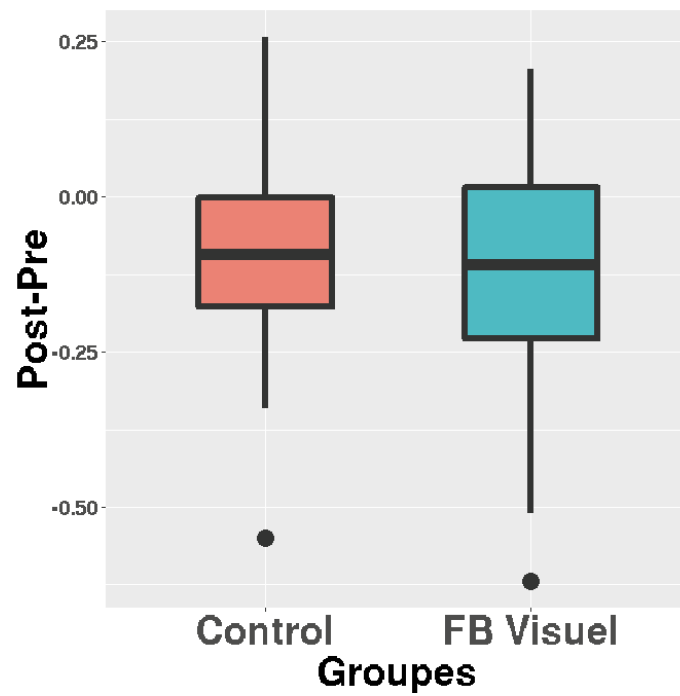


Figure 18. Résultats selon les deux groupes.

FB Visuel = Feedback visuel.

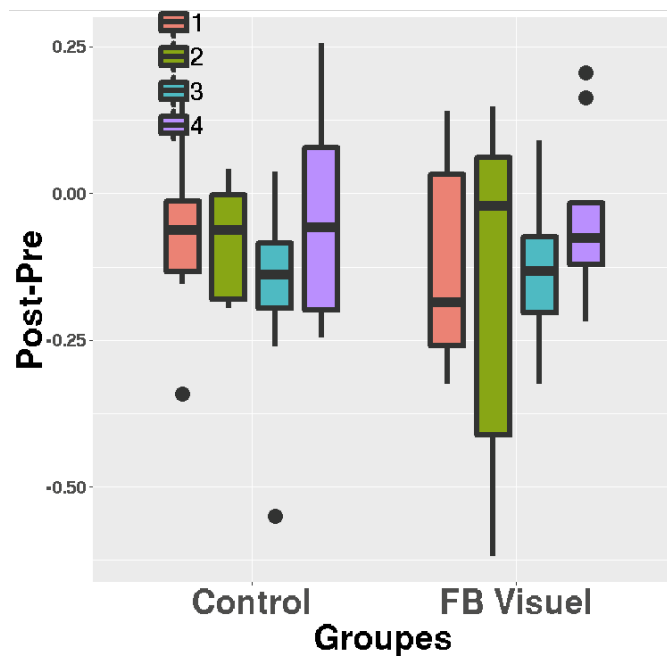


Figure 19. Résultats mettant en relation les quatre exercices et les deux groupes.

FB Visuel = Feedback visuel.

## **4 Discussion**

Dans ce chapitre, les résultats seront mis en relation avec la littérature présentée auparavant. De plus, nous tenterons de répondre à notre question de recherche qui consistait à déterminer quel type d'entraînement permettait un meilleur rendement quant au travail de l'équilibre. Pour terminer, les limites et les perspectives de notre expérience seront définies. Avant de débiter, rappelons que tous les pré et post-tests ont été effectués sans feedback visuel pour tous les sujets.

Reprenons chacune des questions présentées dans le point 1.6 *Objectif du travail*.

### **4.1 Est-il possible d'améliorer son équilibre avec six séances d'entraînement ?**

Dans un premier temps, les résultats moyens du pré et du post-test ont été comparés et les sujets des deux groupes se sont améliorés à l'exception de trois d'entre eux. Cela prouve qu'un entraînement régulier a permis d'améliorer l'équilibre des individus, hormis pour ces trois personnes. Ce premier résultat va dans le sens des travaux de Taube et al. (2008). Brandt et al. (1981) ont affirmé que pour des personnes saines avec au départ une quantité d'instabilité faible, il était difficile de s'améliorer. Cela pourrait expliquer que ces trois sujets n'aient pas eu de progression. Les bases de l'entraînement proposées par Hegner (2013) ont été respectées dans cette étude ; à savoir la régularité, la régénération, l'accroissement progressif et la variation de la charge. Des entraînements ont été programmés trois fois par semaine durant cette étude, tout comme chez Granacher et al. (2010). Notre expérience a duré uniquement deux semaines, ce qui est moins que dans la majeure partie des études présentées (Keller et al., 2014 ; Barcala et al., 2013). Les séances comprenaient cinq exercices variés en alternant les exercices sur un ou sur deux pieds, ce qui permettait aux sujets de travailler plusieurs figures d'équilibre. Les exercices complexes de ce test donnaient un challenge supplémentaire aux sujets (Hegner, 2013). En ce qui concerne la durée des exercices, deux séries de trente secondes par exercices ont été réalisées, ce qui correspond aux 60 secondes dans chaque condition de Dos Anjos et al. (2016).

### **4.2 Tous les exercices ont-ils été améliorés de la même manière ?**

Toutes les tâches effectuées lors des tests correspondent des équilibres statiques, c'est-à-dire sans déplacement ou déformation de la surface d'appui (Paillard, 2016). Il fallait maintenir une position stable avec la projection du centre de gravité dans le polygone de sustentation (Vander et al., 1995). Les quatre exercices n'ont pas démontré la même amélioration.



En observant les boxplots du t-test, une amélioration de l'exercice 1 pour le groupe avec feedback visuel est aperçue. La diminution de variabilité et la médiane plus proche de zéro lors du post-test démontrent le progrès. En ce qui concerne l'exercice 2, dans les deux groupes la variabilité a diminué, mais la médiane montre une petite amélioration pour le groupe contrôle. Pour l'exercice suivant, le point à relever est le déplacement de la médiane dans les deux situations, ce qui prouve une amélioration dans les deux groupes. La dernière tâche démontre une augmentation de la variabilité pour les deux groupes.

Nous allons reprendre chaque exercice individuellement afin d'en observer les particularités.

- Exercice 1 : Position de l'envol sur la pointe des pieds au sol  
Cette position n'est pas habituelle pour l'être humain. Le polygone de sustentation est réduit par rapport à la position bipède, puisque le sujet se trouve uniquement sur la pointe des pieds (Paoletti, 1999). De ce fait, cet exercice demande une forte activation dans les mollets. Le deuxième point, qui peut altérer l'équilibre du participant, est la position de ses bras. En effet, il doit les tenir en arrière ce qui modifie la position du centre de gravité et qui rend la position très instable (« SUVALiv », s.d.).
- Exercice 2 : Tenir sur sa jambe préférée sur un tapis en mousse  
Cette posture est plus habituelle que la précédente. Il est important de remarquer que la surface d'appui se limite à l'empreinte d'un seul pied au sol. De plus, pour compliquer la tâche, elle se fait sur une surface instable, ce qui demande plus de concentration pour le maintien de la position (Taube et al., 2008). Le réflexe d'extension croisée permet de déplacer le poids du corps sur la jambe en appui (Vander et al., 1995). Cet exercice est typique pour la proprioception et permet principalement le travail des récepteurs de la voûte plantaire (Le Goïc, 2013).
- Exercice 3 : Position Tandem au sol avec les yeux fermés  
Cette tâche est très particulière, puisque le sujet se retrouve dans une posture très instable avec les yeux fermés. Le polygone de sustentation est très allongé et le sujet est privé de toute information visuelle. Les informations venant de la vision sont absentes. Le système correspondant est donc non utilisable, tandis que les deux autres systèmes sensoriels, le somatosensoriel et le vestibulaire, compensent ce déficit (Egger & Di Nuzzo, 2009).

- Exercice 4 : Tenir les pieds joints sur la demi-sphère  
Le dernier exercice consiste à tenir sur une demi-sphère. La surface d'appui est moins perturbée que dans les précédentes tâches, mais l'instabilité due à la surface rend la tâche difficile (Taube et al., 2008). La proprioception joue également un rôle majeur lors de ce test.

Pour en revenir à la question initiale *Tous les exercices ont-ils été améliorés de la même manière*, on peut affirmer qu'aucune différence significative n'a été observée, mais en s'intéressant particulièrement aux moyennes, on s'aperçoit que selon les exercices, les sujets ne se sont pas améliorés de la même manière. En effet, les quatre tâches travaillaient l'équilibre différemment, ceci pourrait expliquer de tels résultats. Nous avons observé que le polygone de sustentation de chaque condition était différent. Le support de l'exercice variait et les trois systèmes sensoriels n'étaient pas utilisés à chaque fois de la même manière. De ce fait, il n'était pas possible de trouver une amélioration uniforme. Cela s'explique vraisemblablement parce que les exercices sélectionnés pour nos tests sont plus difficiles que la majeure partie des exercices présentés dans les études. En effet, la plupart du temps, il suffisait de tenir debout en bougeant le moins possible ou de tenir sur un pied (Dault et al., 2003 ; Lakhani & Mansfield, 2016).

#### **4.3 Quelles sont les différences entre les deux groupes ?**

Les tests effectués nous ont permis d'observer que les résultats des exercices différaient d'un groupe à l'autre. En effet, dans le groupe contrôle, l'exercice 3 qui consistait à tenir la position tandem au sol avec les yeux fermés montre une amélioration. Dans ce même groupe, une tendance a été démontrée pour l'exercice 2 ; tenir sur une jambe sur un tapis en mousse.

Par contre, le feedback a permis une amélioration des exercices 3 et 4 qui consistaient respectivement à tenir la position tandem au sol et à tenir les pieds joints sur la demi-sphère. Ces deux exercices sont jugés particulièrement difficiles. Les deux autres exercices plus simples n'ont démontré aucun résultat. Ce constat va dans le sens de l'étude de Wulf, Shea et Matschiner (1998) qui démontre qu'un feedback fréquent est important lors de tâches complexes. De plus, il ne faut pas négliger que les deux groupes comportaient des sujets différents. Un individu n'a pas le même vécu, les mêmes expériences qu'un autre. Ces différences pourraient expliquer pourquoi un exercice est plus significatif qu'un autre dans un groupe et pas dans l'autre (« Inserm », 2015). Certains sujets pratiquaient peut-être un sport favorisant l'équilibre sur un pied, tandis que dans l'autre groupe, les participants avaient moins l'habitude de faire du sport.

Nous avons découvert avec Asseman et al. (2008) que les habitudes sportives des sujets avaient une influence sur leurs résultats. Le fait de ne pas avoir collecté ce genre de données peut constituer une des limites de l'étude. Un dernier élément à ne pas négliger est le facteur psychologique des participants. Selon les émotions ressenties lors des tests, la performance peut être modifiée (Huffman et al., 2009). Par exemple, si un sujet a peur du trampoline et qu'il se retrouve obligé de tenir en équilibre dessus, la performance peut être modifiée, puisqu'en plus de contrôler sa posture, il doit gérer sa peur.

#### **4.4 Un feedback visuel a-t-il une influence sur la performance ?**

Selon Lauber et Keller (2012), un feedback visuel aide à la performance. Dans cette étude, un feedback extrinsèque a été utilisé. Comme l'a démontré Wulf et al. (1998), le feedback extrinsèque est plus pertinent qu'un feedback intrinsèque. De plus, le centre de gravité du participant était représenté sur un écran et selon Hamman et al., (1992) cette visualisation aide à la performance. Or, dans le cas présent, en se basant sur l'Anova, ce feedback n'a pas eu l'effet attendu. Cela peut s'expliquer par le fait que le feedback donnait trop d'informations. Le sujet se trouvait perdu face à l'écran. Il était perturbé et ne savait plus où focaliser son attention (Chua & Schaaf, 2003). Devait-il maintenir les deux droites alignées, se concentrer sur une seule droite, puis sur l'autre ? Normalement une tâche d'équilibre est réalisée grâce à des réflexes posturaux (Kolb et al, 2001), mais avec ce feedback, les réflexes sont perdus et le cerveau doit intervenir afin de comprendre dans un premier temps le feedback et d'ensuite donner une réponse adéquate (Bonnet & Bonnet, 2008). Cela pourrait être comparé à une double-tâche, puisque les ressources attentionnelles ont été partagées (Li et al., 2010). Le sujet est perturbé et l'attention n'est plus optimale comme l'ont soulevé Donker et al. (2007). De plus, un feedback sert à comparer le résultat souhaité avec un résultat de référence (Dault et al., 2003). Dans le cas présent, la différence entre la forme de référence et le résultat était peut-être trop grande, ce qui démotivait le sujet. Il n'arrivait jamais ou que rarement à s'aligner sur la ligne de référence lui faisant ainsi perdre sa motivation et le feedback détériorait le résultat (Baumeister et al., 1990). La posture correcte était trop difficile à atteindre et le participant était perturbé, il n'écoutait plus son corps et voulait à tout prix s'aligner sur le feedback. Illustrons ce propos par un exemple. Le sujet se trouve en situation d'équilibre mais sa droite n'est pas alignée sur la droite de référence, ainsi il va bouger et induire un déséquilibre pour satisfaire la demande du feedback, alors que cela n'est pas nécessaire. Le sujet n'écoute plus son corps et se soumet totalement aux informations extrinsèques (Salmoni et al., 1984). La distance entre

l'écran et le feedback n'était également peut-être pas assez grande. Le sujet ne pouvait pas regarder au centre de l'écran, il devait jongler avec les informations présentes à droite et à gauche. Le feedback complet ne se trouvait donc pas dans sa vision centrale. De plus, une étude a démontré que plus la distance entre le focus d'attention et le corps était grande, meilleures étaient les performances (McNevin et al., 2003). Il serait peut-être préférable d'éloigner le sujet de l'écran afin de permettre une vision centrale du feedback et d'augmenter la distance du focus. Une autre raison qui pourrait expliquer les résultats obtenus réside dans le fait que le sujet est devenu dépendant des feedbacks. Dans cette étude, le groupe avec feedback visuel a reçu lors de chaque exercice une rétroaction et il serait possible que lors du post-test, le sujet ne savait plus comment se comporter puisqu'il avait pris l'habitude de se focaliser sur le feedback et non plus sur son ressenti interne (Wulf & Shea, 2004).

Pour résumer la situation de cette étude, le feedback visuel utilisé ne permet pas d'améliorer significativement la performance, il a plutôt tendance à perturber et gêner le sujet d'après les observations et ressentis que nous avons eu durant les séances de tests et les entraînements.

#### **4.5 Limites et perspectives de l'étude**

La première limite de notre étude est le nombre de sujets, peu de participants ont effectué nos tests. Il est donc difficile d'établir des conclusions à partir de cet échantillon aussi restreint, ce qui diminue la validité externe et la transférabilité des résultats obtenus. En effet, les résultats d'équilibre dépendent énormément des participants. En travaillant avec une plus grande population, les tendances auraient pu être modifiées. Dans un deuxième temps, le problème majeur est la pertinence du feedback. Il donnait trop d'informations aux sujets. Pour une prochaine étude, il serait préférable de simplifier le feedback (Lakhani & Mansfield, 2015) et éloigner le sujet de l'écran (McNevin et al., 2003) afin qu'il n'ait pas à tourner la tête pour voir les deux lignes. Il serait important de donner les informations médio-latérales et antéro-postérieures en une seule information plutôt qu'en avoir deux distinctes. Regroupé les informations en un seul point a été effectué durant une étude parallèle à celle-ci.

Troisièmement, il faudrait également donner des consignes plus claires aux sujets en expliquant que le but premier est de rester stable et non pas de vouloir s'aligner avec la ligne de référence. Pour améliorer cette tâche, il faudrait éventuellement dessiner un rectangle et non une ligne, ce qui donnerait plus de liberté de décalage aux participants. Un quatrième point pouvant entrer en jeu et nuire à cette expérience est la redondance des exercices. Bien que les surfaces d'appui varient et évoluent, il serait intéressant de trouver un challenge supplémentaire qui

maintiendrait la motivation des sujets au cours de chaque séance, tout comme le fait la Wii Fit avec son aspect plus ludique (Barcala et al., 2013). Une autre possibilité serait de travailler l'équilibre en ajoutant une tâche cognitive supplémentaire. Le sujet serait alors moins concentré sur la tâche et cela nous permettrait de voir l'effet du feedback dans une situation de double tâche (Li et al., 2010).

## 5 Conclusion

Ce travail s'est particulièrement intéressé aux effets des feedbacks sur un entraînement d'équilibre pour de jeunes adultes en bonne santé. Deux groupes ont été formés lors de cette étude : le premier appelé groupe contrôle et celui avec un feedback visuel. Dans un premier temps, un entraînement a permis une amélioration des résultats d'équilibre chez tous les sujets. Ces résultats ne sont cependant pas significatifs. Cela suggère que l'entraînement n'a vraisemblablement pas duré assez longtemps pour percevoir des changements (Barcala et al., 2013). Deuxièmement, les quatre exercices n'ont pas eu la même progression. Bien que la littérature ne donne pas une marche à suivre pour les exercices à réaliser en entraînement, les tâches étaient peut-être trop spécifiques par rapport à celles demandées dans les autres études (Taube et al., 2008). En effet, dans celle de 2008, les sujets s'entraînaient en tenant sur un ou deux pieds, tandis que dans cette expérience, les exercices d'entraînements s'apparentaient plus à des tâches de yoga plutôt qu'à de l'équilibre pur comme demandé dans les quatre exercices du test. La question suivante concernait la différence entre les deux groupes. Dans le cas présent, aucun des deux groupes ne s'est distingué. Les expériences et les sports pratiqués par les sujets de notre test peuvent avoir une influence sur ces résultats (Asseman et al., 2008). Mais le principal problème survenu lors de cette expérience est la pertinence du feedback. En effet, selon le retour des participants, le feedback était plutôt perturbant. Trop d'informations étaient présentes sur l'écran, le sujet devait réfléchir avant de pouvoir ajuster sa posture (Chua & Schaaf, 2003). Les réflexes posturaux n'étaient plus suffisants, le cerveau devait intervenir (Kolb et al., 2001). C'est pour cette raison que notre expérience était comparable à une sorte de double tâche pour le groupe avec feedback visuel. Il serait alors préférable de simplifier le feedback pour faciliter la tâche des participants. Il serait également pertinent de donner des consignes claires au sujet : bouger le moins possible et non pas vouloir absolument s'aligner sur le feedback. Ainsi le sujet écouterait également son ressenti interne qui est primordial pour ce genre d'exercice (Salmoni et al., 1984). Ensuite, la distance entre le feedback et l'écran n'est pas à négliger. En l'augmentant, le sujet pourrait voir le feedback entier avec sa vision centrale et l'effet positif de l'éloignement du corps par rapport au focus d'attention pourrait être aperçu (McNevin et al., 2003). En dernier lieu, le nombre de participants à cette étude n'était pas suffisant pour en déduire des tendances. Il faudrait travailler avec un plus grand échantillon. En conclusion, il serait intéressant d'améliorer ce type de feedback visuel et de voir son effet sur une plus grande population de jeunes adultes.

## Bibliographie

- Adkin, A. L., Frank, J. S., Carpenter, M. G. & Peysar, G. W. (2002). Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Experimental Brain Research*, 143(2), 160–170. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0974-8>
- Alahakone, A. U. & Senanayake, S. M. N. A. (2010). A Real-Time System With Assistive Feedback for Postural Control in Rehabilitation. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 15(2), 226–233. doi:10.1109/TMECH.2010.2041030
- Anjos, F., Lemos, T. & Imbiriba, L. A. (2016). Does the type of visual feedback information change the control of standing balance? *European Journal of Applied Physiology*, 116(9), 1771–1779. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3434-7>
- Asseman, F. B., Caron O. & Crémieux J. (2008). Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait & Posture*, 27(1), 76-81. doi:10.1016/j.gaitpost.2007.01.004
- Barcala, L., Grecco, L. A. C., Colella, F., Lucareli, P. R. G., Salgado, A. S. I. & Oliveira, C. S. (2013). Visual Biofeedback Balance Training Using Wii Fit after Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(8), 1027-1032. doi:10.1589/jpts.25.1027
- Barclay-Goddard, R., Stevenson, T., Poluha, W., Moffatt, M. E. K. & Taback, S. P. (2004). Force Platform Feedback for Standing Balance Training After Stroke. *Cochrane database of systematic reviews (Online)*, 36(4), 412-413. doi:10.1002/14651858.CD004129.pub2
- Baumeister, R.F., Hutton, D.G. & Cairns, K.J. (1990). Negative effects of praise on skilled performance. *Basic and Applied Social Psychology*, 11(2), 131-148. [https://doi.org/10.1207/s15324834basp1102\\_2](https://doi.org/10.1207/s15324834basp1102_2)
- Birrer, D., Dannenberger, D., Strupler, C.G., Rüdisühli, U. & Weber, A. (2009). Manuel clé Jeunesse+Sport. Macolin : Office fédéral du sport OFSPO.
- Bonnet, J. & Bonnet, C. (2008). *Théories de l'apprentissage moteur : étude comparée*. Paris: Les carnets Actio.
- Brandt, T., Krafczyk, S. & Malsbenden, I. (1981). Postural Imbalance with Head Extension: Improvement by Training as a Model for Ataxia Therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 374(1), 636-49. doi:10.1111/j.1749-6632.1981.tb30907.x

- Cawsey, R. P., Chua, R., Carpenter, M. G. & Sanderson, D. J. (2009). To what extent can increasing the magnification of visual feedback of the centre of pressure position change the control of quiet standing balance? *Gait & Posture*, 29(2), 280–284. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.09.007
- Chen, S.-Y., Sheng, J., Liang, Y.-Y., Li, Z., Ma, S.-J. & Wang, X.-X., (2018). Effects of the visual-feedback-based force platform training with functional electric stimulation on the balance and prevention of falls in older adults: a randomized controlled trial. *PeerJ*, 6(11), 1-13. <https://doi.org/10.7717/peerj.4244>
- Choque, J. (2011). *Prévention des chutes et équilibre chez la personne âgée : Guide pratique, 200 exercices illustrés*. Revigny-sur-Ornain: Doc éditions.
- Chua, P. T. & Schaaf, R. (2003). Training for Physical Tasks in Virtual Environments: Tai Chi. *IEEE Conference: Virtual Reality*. 87–94. <https://doi.org/10.1109/VR.2003.1191125>
- Dault, M., de Haart, M., Geurts, A., Arts, I. & Nienhuis, B. (2003). Effects of visual center of pressure feedback on postural control in young and elderly healthy adults and in stroke patients. *Human Movement Science*, 22(3), 221-236. doi:10.1016/S0167-9457(03)00034-4.
- Donker, S. D., Roerdink, M., Greven, A. J. & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control, *Experimental Brain Research*, 181(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-0905-4>
- Dos Anjos, F., Lemos, T. & Imbiriba, L. A. (2016). Does the type of visual feedback information change the control of standing balance? *European Journal of Applied Physiology*, 116(9), 1771–1779. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3434-7>
- Duarte, M. & Zatsiorsky, V. M. (2002). Effects of body lean and visual information on the equilibrium maintenance during stance. *Experimental Brain research*, 146(1), 60–69. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1154-1>
- Egger, V. & Di Nuzzo, V. [Présentation CHUV]. (2009). Equilibre. Accès à l'adresse [http://files.chuv.ch/internet-docs/nps/nps\\_fisio\\_equilibre\\_09.pdf](http://files.chuv.ch/internet-docs/nps/nps_fisio_equilibre_09.pdf)
- Exercice sur surface instable [Présentation BPA]. (s.d.). Accès à l'adresse <http://www.equilibre-en-marche.ch>
- Geurts, A.C.H., De Haart, M., Van Nesa, I.J.W. & Duysens, J. (2005). A review of standing balance recovery from stroke. *Gait & Posture*, 22(3), 267–281. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.10.002



- Granacher, U. Gollhofer, A. & Kriemler, S. (2010). Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*, 81(3), 245-251. doi:10.80/02701367.2010.10599672
- Gruber, M. & Gollhofer, A., (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1-2), 98-105. doi:10.1007/s00421-0041080-y
- Gschwind, Y. J. & Pfenninger B. (2016). *Prévention des chutes : exercices d'entraînement* [Documentation technique 2. 104 du bpa]. Accès à l'adresse [https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu\\_2.104.02\\_Prévention%20des%20chutes%20%20Manuel%20d'entraînement%20de%20la%20force%20et%20de%20l'équilibre%20pour%20prévenir%20les%20chutes%20.pdf](https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu_2.104.02_Prévention%20des%20chutes%20%20Manuel%20d'entraînement%20de%20la%20force%20et%20de%20l'équilibre%20pour%20prévenir%20les%20chutes%20.pdf)
- Hamman, R. G., Mekjavic, I., Mallinson, A. I. & Longridge, N. S. (1992). Training Effects During Repeated Therapy Sessions of Balance Training Using Visual Feedback. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 73(8), 738–744. [https://www.researchgate.net/publication/21512260\\_Training\\_effects\\_during\\_repeated\\_therapy\\_sessions\\_of\\_balance\\_training\\_using\\_visual](https://www.researchgate.net/publication/21512260_Training_effects_during_repeated_therapy_sessions_of_balance_training_using_visual)
- Hegner, J. (2013) *Physis, Bases théoriques Jeunesse+Sport*. Macolin : Office fédéral du sport OFSPO.
- Heitkamp, H.-C., Horstmann, F., Mayer, F., Weller, J. & Dickhuth, H.-H. (2001). Gain in strength and muscular balance after balance training. *International Journal of Sports Medicine*, 22(4), 285-290. doi:10.1055/s-2001-13819
- Hopper, D. M., Anders, M., Berg, A., Andersen, H. & Madan, R. (2003). The influence of visual feedback on power during leg press on elite women field hockey players. *Physical Therapy in Sport*, 4(4), 182–186. [https://doi.org/10.1016/S1466-853X\(03\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S1466-853X(03)00068-3)
- Huffman, J. L., Horslen, B. C., Carpenter, M. G. & Adkin, A. L. (2009). Does increased postural threat lead to more conscious control of posture? *Gait & Posture*, 30(4), 528–532. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.08.001>
- Inserm. (2015). *Activité physique et prévention des chutes chez les personnes âgées* [Expertise collective]. Accès à l'adresse <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/6806>
- Keller, M., Lauber, B., Gehring, D., Leukel, C. & Taube, W. (2014). Jump performance and augmented feedback: Immediate benefits and long-term training effects. *Human Movement Science*, 36, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.04.007>

- Kienle, G. & Meyer, E. (2005). *Entraînement sensori-moteur*. [Brochure Mobilesport.ch]. Accès à l'adresse [https://www.mobilesport.ch/assets/lbwp-cdn/mobilesport/files/2015/05/Entrainement\\_sensorimoteur.pdf](https://www.mobilesport.ch/assets/lbwp-cdn/mobilesport/files/2015/05/Entrainement_sensorimoteur.pdf)
- Kolb, F.-P., Lachauer, S., Diener, H.-C. & Timmann, D. (2001). Changes in conditioned postural responses. Comparison between cerebellar patients and healthy subjects. *Acta Physiologica et Pharmacologica Bulgarica*, 26(3), 143-146. <https://europepmc.org/abstract/med/11695526>
- Lacour, M., Barthelemy, J., Borel, L., Magnan, J., Xerri, C., Chays, A. & Ouaknine M. (1996). Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurotomy. *Experimental Brain Research*, 115(2), 300-310. doi:10.1007/PL00005698
- Lakhani, B. & Mansfield, A. (2015). Visual Feedback of the centre of gravity to optimize standing balance. *Gait and Posture*, 41(2), 499-503. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.12.003.
- Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Salazar, W., Crews, D. J., Kubitz, K. A., Gannon, T. L. & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(1), 123-129. <http://dx.doi.org/10.1249/00005768-199101000-00018>
- Lauber, B. & Keller, M. (2012). Improving motor performance: Selected aspects of augmented feedback in exercise and health. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 36-43. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.725104>
- Le Goïc, M. (2013). Etude du contrôle postural chez l'homme : analyse des facteurs neurophysiologiques, biomécaniques et cognitifs, impliqués dans les 500 premières millisecondes d'une chute. (Thèse de doctorat, Université René Descartes, France). Accès à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01002633/document>
- Li, K. Z. H., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A. & Mckinley, P. A. (2010). Benefits of Cognitive Dual-Task Training on Balance Performance in Healthy Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 65(12), 1344–1352. <https://doi.org/10.1093/gerona/gdq151>
- Mcnevin, N. H., Shea, C. H. & Wulf, G. (2003). Increasing the distance of an external focus of attention enhances learning. *Psychological research*, 67(1) 22–29. <https://doi.org/10.1007/s00426-002-0093-6>

- Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I. H., Skjølberg, A., Olsen, O. E. & Bahr, R., (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(2), 71-78. doi:10.1034/j.1600-0838.2003.00341.x
- Nashner, L. M. & McCollum, G. (1985). The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*, 8(1), 135–172. doi:10.1017/S0140525X00020008
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W. & Judge, J. O. (2007). Physical Activity and Public Health in Older Adults: Recommendation From the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 116(9), 1094–1105. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185650>
- Paillard, T. (2016). *Posture et équilibration humaines*. Louvain-la-Neuve: De Boeck supérieur.
- Paoletti, R. (1999). *Education et motricité : L'enfant de deux à huit ans* (Sciences et pratiques du sport. Pratique & technologie). Paris: De Boeck Université.
- Park, S., Horak, F. B. & Kuo, A. D. (2004). Postural feedback responses scale with biomechanical constraints in human standing. *Experimental Brain Research*, 154(4), 417–427. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1674-3>
- Perrin, P. & Lestienne, F. (1994). *Mécanismes de l'équilibration humaine : Exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation* (Monographies de Bois-Larris 29). Paris: Masson.
- Pfenninger, B., Brunner, M. & Frey, M. (2016). *Des exercices d'équilibre FUNtastiques [pdf]*. [https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu\\_4.175.02\\_Des%20exercices%20d%27équilibr%20FUNtastiques.pdf](https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu_4.175.02_Des%20exercices%20d%27équilibr%20FUNtastiques.pdf)
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Hall, W.C., Lamantia, A. S. & White, L.E. (2015). *Neurosciences* (5e éd.). Louvain-la-Neuve, Belgique: De Boeck Supérieur
- Ranganathan, R. & Newell, K.M. (2009). Influence of Augmented Feedback on Coordination Strategies. *Journal of Motor Behavior*, 41(4), 317-330. doi:10.3200/JMBR.41.4.317-330
- Roosink, M., Robitaille, N., Mcfadyen, B.J., Hébert, L.J., Jackson, P.L., Bouyer, L.J. & Mercier, C. (2015). Real-time modulation of visual feedback on human full-body movements in a virtual mirror: development and proof-of-concept. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(1), 1–10. doi:10.1186/1743-0003-12-2
- Salmoni, A.W. Schmidt, R.A. & Walter, C.B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 95(3), 355-386. doi:10.1037//0033-2909.95.3.355

- Schmidt, R.A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*, Paris, Vigot.
- Schmidt, R.A. & Lee, T.D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Champaign: Human kinetics Publisher.
- Shumway-Cook, A. & Horak, F. B. (1990). Rehabilitation Strategies for Patients with Vestibular Deficits. *Neurologic Clinics*, 8(2), 441-457. [https://doi.org/10.1016/S0733-8619\(18\)30366-9](https://doi.org/10.1016/S0733-8619(18)30366-9)
- Stribley, R. F., Albers, J. W. & Tourtellotte, W. G. (1974). A Quantitative Study of Stance in Normal Subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 55(2), 74-80. [https://www.researchgate.net/publication/18357298\\_A\\_quantitative\\_study\\_of\\_stance\\_in\\_normal\\_subjects](https://www.researchgate.net/publication/18357298_A_quantitative_study_of_stance_in_normal_subjects)
- SUVALiv (s.d). *Mise en œuvre du « Programme d'entraînement dynamique »* [Présentation Power Point]. (s.d.). Accès à l'adresse <https://slideplayer.fr/slide/15996192/>
- Swinnen, S.P., Lee, T.D., Verschueren, S., Serrien, D.J. & Bogaerds, H. (1997). Interlimb coordination learning and transfer under different feedback conditions. *Human Movement Science*, 16(6) 749-785. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(97\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(97)00020-1)
- Taube, W., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiologica*, 193(2), 101–116. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x>
- Teasdale, N., Bard, C., Larue, J. & Fleury, M. (2007). On the cognitive penetrability of posture control. *Experimental Aging Research*, 19(1), 1-13. doi:10.1080/03610739308253919
- Toulotte, C., Thévenon, A. & Fabre, C. (2004). Effets d'un entraînement physique sur l'équilibre statique et dynamique chez des sujets âgés chuteurs et non-chuteurs. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 47(9), 604–610. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2004.03.004>
- Vallé, L. (2015). *Le contrôle postural : TAC et TDA / H, quelles particularités ? Réflexion autour du cas de Jérémy* (Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricienne, Université de Toulouse, Faculté de Médecine, Toulouse, France). Accès à l'adresse <http://www.psychomot.ups-tlse.fr/Valle2015.pdf>
- Vander, A.J., Sherman, J.H., Luciano, D.S. & Brière, R. (1995). *Physiologie humaine* (3e éd.). Montréal, Canada: Les éditions de la Chenelière/McGraw-Hil
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture standing and walking control during. *Gait and Posture*, 3(4), 193-214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)

- Wulf, G., Höss, M. & Prinz, W. (1998). Instructions for Motor Learning: Differential Effects of Internal Versus External Focus of Attention. *Journal of Motor Behavior*, 30(2), 169-179. doi:10.1080/00222899809601334
- Wulf, G., Shea, C.H. & Lewthwaite, R. (2010). Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Medical Education*, 44(1), 75-84. doi:10.1111/j.1365-2923.2009.03421.x
- Wulf, G. & Shea, C. H. (2004). Understanding the role of augmented feedback: the good, the bad, the ugly. In A.M.Williams & N.J. Hodges (Eds.), *Skill acquisition in sport: research, theory and practice* (pp. 121-144). London: Routledge.
- Wulf, G., Shea, C. H. & Matschiner, S. (1998). Frequent Feedback Enhances Complex Motor Skill Learning. *Journal of Motor Behavior*, 30(2), 180-192. doi:10.1080/00222899809601335
- Yaggie, J.-A. & Campbell, B.-M. (2006). Effects of balance training on selected skills. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 422-428. doi:10.1519/R-17294.1

## **Remerciements**

Je remercie particulièrement mes conseillers, le Dr Amandine Dubois et le Dr Thibaut Le Naour, pour leur disponibilité et leurs conseils tout au long de ce travail. J'adresse également des remerciements à toutes les personnes ayant accepté de participer cette expérience ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué à ce travail que ça soit par leur soutien ou pour leur relecture. Finalement, je tenais à remercier le Prof. Bresciani Jean-Pierre et l'université de Fribourg pour la mise à disposition du laboratoire.