

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

INFLUENCE DU COUSSIN D'EQUILIBRE PAD PLUS AIREX SUR LA STABILITE



Mémoire présenté par Jérôme KAISER
étudiant en 3^{ème} année de masso-kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
de Masseur-Kinésithérapeute.
2009-2010.

SOMMAIRE

Page

RESUME

1. INTRODUCTION	1
1. 1. La notion d'équilibre.....	1
1.2. Posture et équilibration	1
1.3. Equilibre/Stabilité	2
1. 4. Structures impliquées dans le contrôle postural au niveau du SNC.....	3
1.5. Structures périphériques impliquées dans le contrôle postural	4
1.6. La rééducation proprioceptive.....	8
2. MATERIEL ET METHODE	11
2. 1. Population	11
2. 2. Matériel	12
2. 3. Méthode.....	13
2.4. Protocole	14
3. RESULTATS.....	17
3. 1. Population	17
3. 2. Résultats enregistrés par la plate forme	18
3. 2. 1. Présentation générale des résultats	18
3. 2. 2. Importance de la vue dans l'équilibration sur le coussin Airex	19
3. 2. 3. Importance des déstabilisations provoquées par le coussin Airex	20
3.3. Etude du quotient de Romberg.....	22

3.4. Etude de la latéralité	23
3.5. Comparaison des performances sportifs/non sportifs	25
4. DISCUSSION	25
5. CONCLUSION.....	30

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RESUME

La rééducation proprioceptive a pour but de réentraîner les systèmes de contrôle articulaires lorsque ceux-ci sont défaillants. Depuis que Freeman a proposé sa méthode, un nombre véritablement impressionnant de techniques dites de rééducation proprioceptive ou de reprogrammation neuromotrice voire de rééducation sensitivo motrice ont été proposées pour participer au rétablissement d'une part de la quasi-totalité des articulations des membres et, d'autre part, du rachis tant au niveau cervical que lombaire (11). Certaines de ces techniques donnent l'impression de sérieux, d'autres apparaissent comme de véritables gadgets (16). Parmi les outils disponibles nous trouvons le coussin Airex : il permet cette rééducation à l'instar des plateaux de Freeman, et qui plus est de travailler l'équilibre.

A l'aide de la plate-forme baropodométrique Biorescue de chez RM ingénierie, nous avons analysé la stabilité de notre population, yeux ouverts et yeux fermés, en bipodal et en unipodal, avec et sans coussin Airex. Celle-ci était composée de 40 étudiants en masso-kinésithérapie de l'école de Nancy. L'étude consistant à démontrer l'importance des déséquilibres et leurs caractères imprédictibles provoqués par « l'Airex » et donc par conséquent, de prouver la pertinence de celui-ci en rééducation.

Ce travail atteste que le coussin Airex déstabilise grandement ses utilisateurs, il montre également l'importance primordiale de la vue pour maintenir un certain équilibre. Nous avons également mis en évidence la difficulté des exercices en unipodal sur Airex. Le coefficient de Romberg avec coussin est augmenté mais aucune différence statistiquement significative n'a été démontrée.

Mots clés : équilibre, Airex, posturographie.

1. INTRODUCTION

1. 1. La notion d'équilibre

Le contrôle de l'équilibre fait appel à des effecteurs musculaires contrôlés par des structures du système nerveux central, elles mêmes connectées à des afférences périphériques, l'ensemble constituant un système de régulation fortement automatisé (34).

Le maintien de l'équilibre chez l'homme en position debout est assuré lorsque la verticale passant par le centre de gravité se projette à l'intérieur de la surface d'appui au sol, c'est-à-dire la surface des pieds, autrement dit le polygone de sustentation. D'un point de vue musculaire, l'équilibre dépend du parfait réglage de l'activité tonique posturale qui permet, avec le minimum de dépense énergétique, le placement et le maintien du centre de gravité du corps dans ce polygone (5).



Figure 1 : équilibre instable.

1. 2. Posture et équilibration

Au sens strict, une posture est la position relative des différentes pièces squelettiques les unes par rapport aux autres à un instant donné. La posture peut également être définie comme l'attitude fondamentale d'une espèce : quadrupédie chez la plupart des mammifères, station bipède ou érigée chez les primates supérieurs et nous même. Cette posture est très instable du fait des accélérations auxquelles l'homme est soumis : accélération gravitaire et accélérations imposées par le mouvement lui-même.

L'équilibre postural (équilibre statique) et l'équilibration (équilibre dynamique) sont essentiels et préalables à toute activité motrice, peu importe l'environnement et la difficulté de l'action à effectuer (24). L'équilibration est la capacité de maintenir une posture en dépit de circonstances contraires. « C'est donc le résultat de l'action de l'ensemble des mécanismes qui visent à la conservation de la posture en dépit des causes qui tendent à la perturber lors de la station debout (équilibration statique) et lors de la déambulation ou de la gestuelle (équilibration dynamique).» (18) La posture est associée au mouvement. Sherrington disait que « la posture suit le mouvement comme son ombre ». En fait elle le précède. La posture doit répondre à deux impératifs en apparence opposés : permettre le mouvement d'un segment tout en stabilisant les autres segments pour assurer le maintien de la station érigée chez l'homme. (18) Le maintien postural et le contrôle des déséquilibres passent par des mécanismes d'adaptation rapide dont peu atteignent la conscience (10). Le contrôle postural s'organise de façon segmentaire sous la forme d'activités réflexes le plus souvent inconscientes : il existe ainsi une régulation de la position de la tête sur le cou, des différents segments du rachis entre eux, et des segments de membres entre eux et par rapport au tronc. A côté de cette organisation segmentaire existe, de façon plus générale, une coordination inter segmentaire responsable de la fonction globale d'équilibration. (7)

1.3. Equilibre/Stabilité

Défini en physique par l'existence de deux forces alignées, égales et de sens contraire, l'équilibre, moment nul de ces forces, n'est pratiquement jamais obtenu en physiologie. Et le terme qui convient à la situation ainsi abusivement dénommée est celui de stabilité : état d'un solide qui tend à revenir à sa position initiale lorsqu'il en est écarté. En termes de

biomécanique, cette stabilisation est efficace tant que le centre de gravité reste aligné sur le centre de pression. «Deux tactiques sont possibles : soit le centre de pression s'aligne sous le centre de gravité, comme le fait le doigt qui maintient un balai vertical, soit le centre de gravité s'aligne sur le centre de pression.» (7). Un sujet peut être stable en explorant peu les limites de stabilité de son polygone de sustentation (schématisé par les semelles plantaires) ou au contraire en les explorant au maximum. Le concept de stabilité est donc plus souple que celui de l'équilibre.

Le contrôle de l'équilibre est un des aspects spécifiques du contrôle postural, extrêmement développé chez l'homme du fait du caractère instable de la station bipodale (31).

1. 4. Structures impliquées dans le contrôle postural au niveau du système nerveux central (SNC)

Il nous convient de préciser que les mécanismes du contrôle postural ne sont pas encore totalement élucidés et sont toujours débattus à l'heure actuelle. Ces mécanismes sont extrêmement complexes et nous ne les développerons que très sommairement.

Les structures du SNC (centres du contrôle postural) mises en jeu dans le contrôle postural sont de façon privilégiée le tronc cérébral, le cervelet, les ganglions de la base et les hémisphères cérébraux au niveau de l'aire motrice supplémentaire et du lobe pariétal droit (20, 31) :

- Les ganglions de la base et le tronc cérébral sont les centres régulateurs des adaptations posturales. Ils agissent en anticipation (feedforward) et en boucle de rétroaction (feedback) (31).

- Les structures hémisphériques joueraient un rôle privilégié dans la représentation corporelle qui fixe le référentiel égo-centré (34).

- Le cervelet joue un rôle important dans la régulation du mouvement au niveau des synergies musculaires. On insiste depuis quelques années sur son rôle clef dans l'acquisition des mouvements. (7)

Rôle de la moelle épinière : « la moelle épinière réajuste localement l'activité posturale » (10). Les adaptations posturales à des perturbations amples passent par la mise en jeu de voies réflexes spinales à courtes, moyennes et longues latences. Ces voies sont multiples. Parmi elles, le réflexe myotatique occupe probablement une place prépondérante (20). En effet, cet arc constitue une boucle de régulation de la longueur du muscle puisqu'un étirement passif du muscle entraîne, à une latence très courte, sa propre contraction réflexe, ce qui tend à ramener la longueur du muscle à sa valeur initiale.

Ces centres intégrateurs traitent les informations fournies par les exo et endo-entrées détaillées après.

1.5. Structures périphériques impliquées dans le contrôle postural

Les afférences périphériques impliquées dans le contrôle postural : elles regroupent les afférences proprioceptives (muscle et articulation), extéroceptives (téguments), labyrinthiques et visuelles :

- Afférences musculaires : elles sont dominées par les afférences des *fuseaux neuromusculaires*, ils signalent tout allongement du muscle et modulent finement la réponse

musculaire. Pour certains auteurs ce sont les informations provenant des muscles qui paraissent les plus fidèles « de l'état et des changements d'état de notre corps et donc les plus directement utilisables par système nerveux central pour élaborer sa connaissance et sa représentation au travers des actions qu'il accomplit » (27). Parmi ces afférences musculaires il y a également les *récepteurs tendineux de Golgi* : ils sont situés à l'extrémité de la fibre musculaire, au niveau des jonctions musculo tendineuses. Ces récepteurs sont sensibles à une tension exercée soit par l'étirement passif des fibres musculaires, soit par l'activation des fibres musculaires (1).

- Afférences cutanées : « les récepteurs sensoriels de la peau informent, au même titre que les mécanorécepteurs musculaires, le système nerveux central sur les actions du corps. » (26) Elles codent pour les déformations et les étirements orientés de la peau (26). En effet, lors de tout mouvement, il y a une déformation des tissus moteurs qu'il met en jeu (muscles, tendons, ligaments...), mais aussi des tissus cutanés qui les recouvrent. Par ailleurs, on différencie d'une part les *mécanorécepteurs*, sensibles à la pression et aux vibrations (bas seuil d'activation) et d'autre part les *nocicepteurs*, sensibles à la douleur (seuil de stimulation élevé) (31). Les afférences cutanées plantaires ont un rôle important dans le maintien de l'équilibre : « Par sa situation d'interface entre l'organisme et le sol, ses capteurs performants de pression, de vitesse, d'accélération et d'étirement directionnel, judicieusement structurés en deux plans, elle joue le rôle d'une véritable plate-forme de force capable de renseigner le système de l'équilibration sur les paramètres statiques et dynamiques des forces mises en jeu à l'interface pied/sol. Par son architecture ostéo-articulaire et musculo-ligamentaire, le pied joue également un rôle actif fondamental dans l'équilibration, par la mise en jeu de stratégies

d'anticipation visant à stabiliser de manière économique le sujet debout » (1). En clair, elles informent le SNC sur le milieu extérieur et sur la gravité (15).

- Afférences articulaires : il y a les récepteurs de Ruffini, les corpuscules paciniformes, les organes de Golgi et les terminaisons nerveuses libres. Les récepteurs de *Ruffini* sont dans la capsule des articulations, ils sont actifs même au repos, dans toutes les positions articulaires. Ils sont activés par la position articulaire, la pression intra-articulaire, les mouvements articulaires actifs et passifs. Leur décharge, et donc leur activation augmente de façon proportionnelle à la vitesse angulaire du mouvement (32). Les *corpuscules paciniformes* se trouvent également dans la capsule articulaire, ils sont inactifs au repos et déchargent dès le début du mouvement, qu'il soit actif ou passif ; ce sont des récepteurs d'accélération. Les *organes de Golgi* sont présents dans les ligaments (extra ou intra-articulaires) sont stimulés lors d'un mouvement par la position et la direction du mouvement. Les *terminaisons nerveuses libres* sont les récepteurs de la douleur et sont présents dans la capsule, le périoste et les franges graisseuses (14, 29, 9). « Le rôle des récepteurs articulaires n'est pas primordial dans la proprioception consciente » souligne Pascale Pradat (8).

- Afférences vestibulaires : elles sont situées dans l'oreille interne. Il y a les *otolithes*, sensibles à la position de la tête et à son accélération linéaire et les *canaux semi-circulaires*, mis en jeu lors de la rotation de la tête et ce quelque soit l'axe de rotation du fait de leur présence dans les 3 plans de l'espace. Elles contribuent à réguler le tonus musculaire et les mouvements de la tête et des membres lors des déséquilibres. Le système vestibulaire est le plus tardif à entrer en jeu car il a un seuil d'activation plus élevé. La plus grande latence de ce système permet au « système de précision » (musculo-tendino-articulaire et visuel) de gérer la plupart des situations posturales d'une façon plus raffinée (20).

- Afférences visuelles : la stabilité posturale est connue pour diminuer (augmentation des oscillations du corps) lorsque la vision est supprimée (10). Les informations d'origine visuelle sont primordiales pour l'orientation et l'équilibration (20). Son rôle devient primordial dans le contrôle de l'équilibre lorsqu'il existe une diminution des afférences d'autres origines et elle est essentielle dans le contrôle du programme moteur au cours de la marche pour adapter celle-ci aux conditions extérieures (31, 28). Le système visuel a une double fonction : une fonction extéroceptive (rétine maculaire) pour la reconnaissance des formes, des couleurs et des distances ; et une fonction proprioceptive (rétine périphérique) renseignant sur les mouvements relatifs d'une scène visuelle (1, 16).



Figure 2 : le fuseau neuromusculaire.

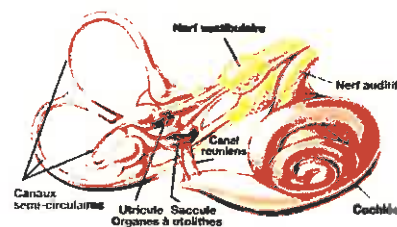


Figure 3 : le système vestibulaire.

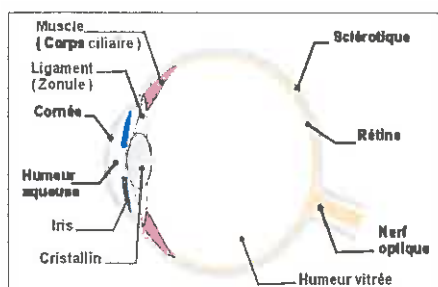


Figure 4 : coupe simplifiée d'un œil.

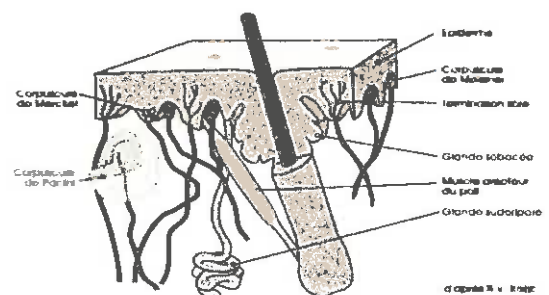


Figure 5 : récepteurs cutanés.

Selon J.-P. Roll suivant le contexte environnemental et cognitif dans lequel nous agissons, ou selon le niveau d'apprentissage d'une activité motrice, un type d'information sera plus ou moins important, et le poids de chacune de nos modalités sensorielle changera alors dans sa prise en compte fonctionnelle par le SNC.

A noter également l'importance du système proprioceptif de la nuque : « il permet en effet d'apprécier la position relative de la tête par rapport au tronc » (22). Son intégrité est indispensable pour une bonne analyse des informations fournies par le vestibule et les yeux.

Les effecteurs musculaires sont « distribués » sur l'ensemble de la musculature tant axiale que périphérique. « Pour assurer la partie active du contrôle postural et de l'équilibre, ils doivent s'opposer à l'action de la pesanteur sur les segments de membre superposés » (31) Ils exercent ces forces soit de façon passive par la mise en jeu de leur composante viscoélastique, soit de façon active par leur recrutement (qui est le plus souvent automatique).

Les mécanismes impliqués dans le contrôle postural et la gestion du déséquilibre, se basent donc sur l'intervention coordonnée et synergique de ces systèmes qui nous informent à tout moment de nos postures, réagissent par rapport à la position d'un muscle ou par rapport à sa longueur, renseignent sur la position dans l'espace, sur les attitudes, sur les mouvements et sur l'équilibre. C'est ce que l'on appelle la proprioception, qui est à opposer à l'extéroception (prélèvement des informations sur l'environnement extérieur) (34).

1.6. La rééducation proprioceptive

La proprioception est donc la connaissance des parties du corps, de leur position et de leur mouvement dans l'espace, sans que l'individu ait besoin de les vérifier avec ses yeux.

L'entraînement proprioceptif et les techniques de réhabilitation sont utilisés pour prévenir les blessures et les récives et aussi pour fournir une restauration fonctionnelle optimale durant la rééducation (12).

« La Rééducation Neuromusculaire (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation « PNF ») par la Proprioception est devenue « rééducation proprioceptive » par simplification ». Quelques variantes existent : rééducation neuro-proprioceptive, reprogrammation neuromotrice, rééducation sensori-motrice, et autres ; mais toutes relèvent de cette « PNF ». « Proprioceptive Neuromuscular Facilitation veut dire que les exercices ont pour but de rendre plus aisée (facilitation) une rééducation dans laquelle les nerfs sont sollicités autant que les muscles (neuromuscular) ». (33)

La rééducation proprioceptive a vu le jour dans le cadre des entorses de cheville, avec, dans l'ordre chronologique, les travaux de Freeman, Castaing et Rodineau. On a supposé qu'après lésion ligamentaire, les récepteurs articulaires et ligamentaires soit ne transmettaient plus l'information d'étirement soit la transmettaient tardivement du fait de la distension ligamentaire. La réponse musculaire, retardée, est impuissante à contrôler l'articulation qui devient instable. L'idée de suppléer le déficit des récepteurs ligamentaires par les fuseaux neuromusculaires a conduit à la rééducation sur plateaux instables en vue d'augmenter la vitesse de réponse musculaire et à parfaire l'équilibre.



Figure 6 : plateaux de Freeman de type I (à gauche) et II (à droite)

La rééducation proprioceptive commence en général par des exercices en décharge avant de pratiquer des exercices déséquilibrant sur plan stable puis sur plan instable. Nous jouons également sur la suppression de la vue pour augmenter la difficulté des exercices et

stimuler préférentiellement les vestibules, les afférences cutanées, articulaires et musculaires ou en rajoutant des mouvements de tête pour activer surtout ces trois dernières. Les différents exercices étant en premier lieu réalisés en décharge puis en charge ; sur deux jambes puis sur une seule, toujours dans un but de progression.

«De nombreuses études montrent l'importance d'un travail proprioceptif pour l'amélioration de la posture et de l'équilibre. Debu et Woollacott constatent, eux, que les réponses posturales automatiques sont sensibles aux effets de l'entraînement » (20). Pour synthétiser, nous pouvons dire que beaucoup de coordination sensori-motrices posturales sont apprises ou au moins affinées par l'apprentissage et l'entraînement, c'est-à-dire nécessitent la mise en relation active entre la motricité et les réafférences sensorielles qui lui sont normalement associées.

La construction des coordinations sensori-motrices par l'expérience implique que ces coordinations soient plastiques et donc modifiables. Cette plasticité est non seulement une condition d'apprentissage chez les enfants, mais elle est également à la base des capacités de restaurations fonctionnelles de l'organisme en cas d'atteinte de certains systèmes sensoriels ou moteurs, ou simplement de détérioration par le vieillissement (16). Il est admis que l'exécution d'exercices musculaires sur surface instable stimule d'avantage le système nerveux que les méthodes traditionnelles d'entraînement en résistance, type travail analytique (8). L'avantage de ce type d'entraînement tient aux adaptations neuronales qui l'accompagnent. Thonnard constate en 1988 que le laps de temps pour que se produise une lésion ligamentaire était très inférieure à celui de la réponse musculaire correctrice (24). **D'où l'idée de développer des réponses anticipées, programmées à l'avance par un apprentissage dans des situations de plus en plus complexes et risquées (8).** Grâce à la

plasticité, la RNM remodèle durablement le programme moteur en profondeur, elle combine les neurones d'un réseau avec ceux d'un autre, dessine de nouveaux circuits qui détermineront un comportement différent lors de mises en situation ultérieures. Cette transformation s'opère par la mise en situation répétée du sujet dans un environnement qui exige et induit une réponse déterminée. Bien que ces situations soient répétées, il n'en empêche que cette rééducation doit conserver un caractère imprédictible.

De nos jours dans les catalogues de vente destinés aux masseurs-kinésithérapeutes nous trouvons une multitude d'outils de rééducation proprioceptive, tous utilisant le même principe d'instabilité du support à des coûts parfois exorbitant. Nous sommes donc en droit de s'interroger sur l'utilité de ces outils et leur efficacité.

Si nous arrivons à montrer l'importance des oscillations provoquées sur les patients par le coussin Airex, et cela dans différentes situations (yeux ouverts ou fermés, sur une jambe ou sur deux), alors nous pouvons supposer que par son utilisation régulière, et donc par un entraînement bien mené, nous arriverons à augmenter la stabilité et la proprioception de ces patients lors de ces différentes situations car, comme nous l'avons vu auparavant, les réponses posturales automatiques sont améliorées par l'entraînement.

2. MATERIEL ET METHODE

2. 1. Population

Cette étude a été réalisée sur 40 étudiants de l'ILFMK de Nancy. 20 garçons et 20 filles étudiants en 1^{ère} et 3^{ème} année. Leur moyenne d'âge est de 22,3 ans. 85% d'entre eux sont des sportifs (tableau I).

Parmi la population choisie il existe un certain nombre de constantes :

Les tests ont été pratiqués à des heures identiques, c'est-à-dire dans la matinée entre 8 heures et midi, afin que tous soient placés au maximum dans les conditions d'environnement similaires. Les mesures ont été effectuées dans la même salle et par le même opérateur (moi-même), dans les mêmes dispositions et avec le même protocole de test (voir protocole).

2. 2. Matériel

Pour l'évaluation des techniques: BIORescue est un système qui conjugue une plateforme équipée de 1600 capteurs de pression et un logiciel permettant d'effectuer des analyses et de la rééducation en feed-back. C'est en réalité un baropodomètre composé d'un réseau de capteurs mesurant des pressions locales et à partir de chaque capteur se constitue le centre de pression. Le centre de pression est « le point d'application des forces de réaction qui s'opposent au déplacement de la plate forme sous l'impulsion de la masse corporelle » (3). Il reflète à la fois les mécanismes contrôlant l'équilibre et les mouvements du centre de masse du corps tout entier, fournissant ainsi une mesure globale du contrôle postural (23). Sur tous les capteurs de pression un seuillage de pression est effectué à 60 grammes (nous ne voyons rien en dessous). Résolution : 0,75 cm² par capteur. La plate forme enregistre des forces à une cadence d'échantillonnage de 60 Hz c'est-à-dire 60 fois par seconde. Il y a une zone aveugle entraînant environ 10% d'erreur sur la surface mesurée. En appui bipodal le temps d'enregistrement est de 60 secondes alors qu'en unipodal il est seulement de 30 secondes ; cet appui étant bien évidemment moins facile à maintenir, car plus instable. L'horizontalité de la plate forme a été vérifiée à l'aide d'un niveau à bulle.

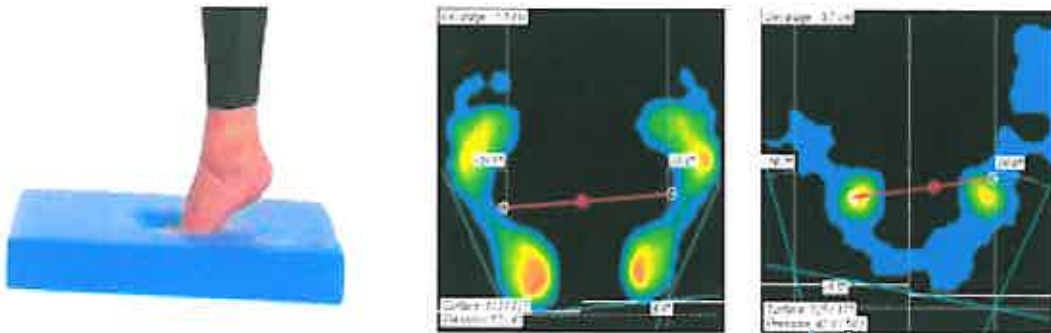


Figure 7 : Balance Pad Pus Airex. Figure 8 : Images enregistrées avec Biorescue.

Pour l'application des techniques : le Balance Pad Airex mesure 50 centimètres de long, 41 centimètres de large et 6 centimètres d'épaisseur pour un poids de 700 grammes. C'est un coussin spécial en silicone rempli à plus de 90% d'air. Il permet des exercices d'équilibre, de coordination et de réaction, un entraînement à la stabilité statique et dynamique, des exercices moteurs pour acquérir et maintenir la capacité d'équilibre.

2. 3. Méthode

Le questionnaire (voir l'annexe I) : nous interrogeons au préalable les étudiants sur différents facteurs physiologiques qui pourraient conditionner leur stabilité :

- Port de correction visuelle (lunettes / lentilles) : ceci doit être précisé du fait de l'importance de l'entrée visuelle dans l'équilibre du sujet les yeux ouverts. Les intéressés doivent garder ces corrections pendant les mesures.
- Antécédents orthopédiques (fractures, entorse, luxation...) récents, de moins de six mois : si oui le sujet ne fait pas les mesures, c'est un critère d'exclusion tout comme les troubles mandibulaires ou vestibulaires par ailleurs demandés.

- Pathologies anciennes, de plus de six mois, au niveau de la colonne vertébrale ou des membres inférieurs : toute entorse, fracture, luxation, problème rachidien peuvent engendrer une modification au niveau morphostatique et donc influencer l'équilibre.
- Latéralité : le pied dominant est le pied utilisé spontanément lors d'une action. Le membre inférieur dominant est important à connaître pour voir s'il est d'une meilleure stabilité sans coussin puis avec coussin Airex. Nous déterminons le membre dominant par un test simple et facilement reproductible. Nous nous plaçons derrière le sujet et nous le poussons vers l'avant d'un geste franc mais sans danger. Le pied avancé pour conserver l'équilibre est le membre dominant.
- Prise de café, de thé ou alcool une heure avant l'examen : il est décrit que ces substances influencent l'équilibre, donc il est demandé aux étudiants de ne pas en boire avant les tests (7).
- Médications actuelles ou régulières, pouvant agir également sur l'équilibre (neuroleptiques, antihypertenseurs, psychotropes, antidépresseurs, anxiolytiques...), (35).
- Existence de douleurs à l'appui.

2.4. Protocole

L'examen se déroule pieds nus et toujours aux mêmes heures c'est-à-dire le matin entre 8 heures et midi.

→ L'enregistrement comporte 12 mesures :

-bipodale les yeux ouverts (YO)

-bipodale les yeux fermés (YF)

-bipodale sur coussin Airex les yeux ouverts

-bipodale sur coussin Airex les yeux fermés

-unipodales gauche et droite les yeux ouverts

-unipodales gauche et droite les yeux fermés

-unipodales gauche et droite sur coussin Airex les yeux ouverts

-unipodales gauche et droite sur coussin Airex les yeux fermés

→ L'exercice est tiré au sort par le sujet, cela en vue d'éviter la notion d'apprentissage et le biais qu'elle entraîne. EL-OUAER et VIEL, dans leur étude stabilographique, n'ont pas réalisé cette randomisation et signalent l'apprentissage que cela a sûrement entraîné chez leur population, ceci afin que d'autres auteurs évitent de faire la même erreur et suppriment l'effet d'apprentissage en choisissant les épreuves de manière aléatoire (4).

→ Un fil à plomb est placé à 90 centimètres du sujet. La pièce où se déroule l'examen ne varie jamais : même luminosité, même environnement visuel, au calme. On étudie la surface et la longueur parcourues par le centre de pression pour chaque exercice.

→ Nous donnons toujours les mêmes consignes au sujet : mettez les bras le long du corps, restez tranquille, décontracté pour les épreuves en station bipodale. Pour les épreuves les yeux ouverts (YO) : regardez en direction de la cible visuelle sans la fixer et vous comptez à voix haute de 100 à 0. Pour les épreuves unipodales : levez la jambe et bougez le moins possible, vous pouvez vous rattraper à moi ou à la table si nécessaire (on compte le nombre d'appuis).

→ En appui bipodal la position des pieds n'a pas d'importance sur la plate-forme Biorescue, l'enregistrement dure 60 secondes. En appui unipodal, le sujet prend son équilibre sur un

pied, sans aide manuelle d'emblée, mais avec des possibilités de rattrapage manuel à disposition. Pour l'appui unipodal nous tolérons une flexion légère du genou de 5 à 10 degrés ; en effet car tenir la jambe parfaitement droite sur Airex durant toute la durée du test est difficile. Pour le membre non en appui, nous demandons au sujet de se tenir avec 15-20 degrés de flexion de hanche, le genou environ à 90 degrés de telle sorte à ce que le pied soit légèrement décollé du sol ; nous avons choisi arbitrairement cette position. Nous tolérons une légère rotation de hanche. L'enregistrement du test est déclenché par le sujet sitôt qu'il lève un de ses pieds sans que celui-ci chevauche la séparation médiane du plateau, et dure 30 secondes. A noter que la position des pieds est laissée libre, la plateforme n'étant pas normée nous voulions laisser aux sujets le soin de choisir la disposition qui leur semblait meilleure.



Figure 9 : Installation en vue des mesures.

Les paramètres suivants sont enregistrés puis utilisés pour notre étude :

- Longueur du statokinésigramme : c'est l'examen de la trajectoire des centres de pression (CP), (35).
- S : surface de l'ellipse de confiance qui contient 90% des positions échantillonnées du centre de pression (2). Cette surface correspond à une exacte évaluation de la précision avec laquelle le sujet se stabilise vis-à-vis de son environnement. (2)

- Le quotient du Romberg (11) : on peut apprécier dans quelle mesure un sujet utilise sa vision dans le contrôle de sa posture orthostatique simplement en comparant ses performances en situation yeux ouverts et yeux fermés. On utilise, en fait, le quotient de la surface en situation yeux fermés (S_{yf}) par la surface en situation yeux ouverts (S_{yo}), le résultat étant multiplié par cent. $QR = (S_{yf}/S_{yo}) * 100$

Il convient de rappeler, comme Gagey le dit, que nous n'avons pas cherché à mesurer l'équilibre car il ne se mesure pas du fait qu'« il ne correspond à aucune réalité » chez l'homme. Il peut seulement se définir comme un état limite idéal vers lequel nous tendons à aller, plus ou moins habituellement lorsque nous sommes debout (3). La stabilité quant à elle se mesure, du moins ses propriétés.

3. RESULTATS

3. 1. Population

Tableau I : Présentation de notre population

Variables	Moyenne (écart type ou ET) ou fréquence (%)	
<u>Sexe</u>	20 femmes (50%)	20 hommes (50%)
<u>Age</u>	22.3 ans (3.5)	
<u>Poids</u>	68.9 kg (13.6)	
<u>Taille</u>	1.72 m (0.10)	

Variables	Moyenne (écart type ou ET) ou fréquence (%)	
<u>Pointure</u>	40.7 (3.05)	
<u>Activité sportive</u>	Oui : 34 (85%)	Non : 6 (15%)
<u>Latéralité</u>	11 gauchers (27.5%)	29 droitiers (72.5%)
<u>Antécédent(s) orthopédiques</u>	Oui : 32 (80%)	Non : 8 (20%)

3. 2. Résultats enregistrés par la plate forme

3. 2. 1. Présentation générale des résultats

Tableau II : analyse des différentes mesures de la stabilité (résultats complets dans l'annexe II, et sous forme de graphiques pour une visualisation plus aisée dans l'annexe VI)

Variables	m0 sans Airex (ET)	m1 avec Airex (ET)	m1-m0	p
<u>Surface en bipodal YO</u>	18.2 (22.03)	100.1 (62.5)	81.9	<0.0001
<u>Longueur en bipodal YO</u>	64.4 (8.7)	131.6 (12.7)	67.2	<0.0001
<u>Surface en bipodal YF</u>	43.2 (98.8)	305.7 (202.3)	262.5	<0.0001
<u>Longueur en bipodal YF</u>	64.8 (6.8)	147.3 (17.8)	82.5	<0.0001
<u>Surface en unipodal gauche YO</u>	244.3 (171.7)	486.3 (351.0)	241.95	<0.0001
<u>Longueur en unipodal gauche YO</u>	62.9 (14.9)	76.0 (14.0)	13.1	<0.0001
<u>Surface en unipodal droite YO</u>	227.6 (140.7)	380.1 (261.2)	152.5	0.0009
<u>Longueur en unipodal droite YO</u>	59.4 (10.8)	76.4 (9.0)	17.05	<0.0001
<u>Surface en unipodal gauche YF</u>	1354.1 (1136.4)	3761.0 (3042.2)	2406.9	<0.0001
<u>Longueur en unipodal gauche YF</u>	116.9 (31.5)	146.2 (55.8)	29.3	0.0007
<u>Surface en unipodal droit YF</u>	1356.8 (876.0)	4601.8 (3741.85)	2115.3	<0.0001
<u>Longueur en unipodal droit YF</u>	124.8 (35.2)	169.5 (48.9)	31.2	<0.0001

Deux hypothèses avaient été posées :

- *Hypothèse nulle (H0)* : si le coussin Airex n'a pas d'influence, la moyenne des différences de surface ou de longueur doit être nulle ($m_1 - m_0 = 0$).

- *Hypothèse alternative (H1)* : $m_1 - m_0$ différent de 0 (soit $m_1 - m_0 < 0$ ou $m_1 - m_0 > 0$)

Sachant que le résultat du test statistique est significatif lorsque « petit p » est inférieur à 0,05 nous voyons donc que pour tous les tests le coussin Airex a une influence et globalement $m_1 - m_0 > 0$.

Cela nous permet déjà de pouvoir affirmer que le coussin Airex est déstabilisant.

Il est par ailleurs intéressant de regarder à quel point cet outil de rééducation fait travailler l'équilibre et entraîne donc des réponses musculaires d'autant plus importantes (à vérifier par EMG) que la déstabilisation est grande. Par la même occasion, suivant l'importance des variations du centre de pression, on peut voir dans quelles conditions et quelles pathologies il est le mieux d'utiliser l'Airex. En ce sens et à titre d'exemple, mettre quelqu'un avec d'importants troubles de l'équilibre sur ce coussin, sur une jambe les yeux fermés ne serait pas raisonnable vu la multiplication de 2,8 voir 3,4 de la surface parcourue par le CP par rapport à cette même situation déjà instable (YF) sans Airex.

3. 2. 2. Importance de la vue dans l'équilibration sur le coussin Airex

En ce sens l'étude statistique du tableau II (comparaison de moyennes) montre tout d'abord l'importance primordiale et bien connue de l'entrée visuelle sur l'équilibration ; en terme de surface parcourue par le centre de pression :

- Sans coussin : en bipodal les valeurs sont multipliées par 2,4 ; en unipodal gauche par 5,5 et en unipodal droit par 6

- Avec coussin : en bipodal les valeurs sont multipliées par 3,1 ; en unipodal gauche par 7,7 et en unipodal droit par 12,1 !

La vue qui est considérée par beaucoup d'auteurs comme le principal organe de l'équilibre est donc, d'après nos chiffres, d'autant plus importante que l'équilibre est dur à maintenir. En effet, sur une jambe il est forcément moins facile de tenir que sur deux ; or nous voyons que dans cette situation unipodale la surface est multipliée jusqu'à 6 fois sans coussin et plus de 12 fois avec ce qui est considérable. Nous constatons ainsi, de par l'énorme destabilisation créée, toute la difficulté des exercices sur une jambe les yeux fermés sur coussin ; exercices à proposer aux sportifs en toute fin de rééducation ou même dans un cadre hors pathologies, en vue d'améliorer la stabilité des patients dans leur discipline sportive respective par exemple. Cela peut laisser une piste pour savoir si cette stabilité serait augmentée par un entraînement avec ledit outil thérapeutique et il serait bien de voir à quel point lors d'une autre étude. Par ailleurs, les valeurs sont moindres en bipodal, quand l'équilibre est moins précaire, même si bien sur sans la vue le test montre que l'équilibre est plus dur à maintenir.

3. 2. 3. Importance des déstabilisations provoquées par le coussin Airex

Ensuite, concernant le déséquilibre provoqué par le balance pad plus Airex en égard aux tests sans celui-ci, on constate plusieurs choses :

- En bipodal les yeux ouverts, la surface avec coussin est 5,5 fois supérieure à celle sans coussin.
- En bipodal les yeux fermés, la surface avec coussin est 7,1 fois supérieure à celle sans coussin.
- En unipodal gauche/droite les yeux ouverts, la surface avec coussin est 2/1,7 fois supérieure à celle sans coussin.
- En unipodal gauche/droite les yeux fermés, la surface avec coussin est 2,8/3,4 fois supérieure à celle sans coussin.

Nous constatons donc que le coussin entraîne, comparativement à la situation simple sans lui, une destabilisation plus grande en bipodal qu'en unipodal, cela en terme de « multiplication de longueur parcourue par le centre de pression par rapport à la situation initiale sans coussin ». Cet élément était à nos yeux beaucoup moins prévisible du fait de la très grande instabilité observée chez les sujets en unipodal sur le coussin.

Toutefois, ce résultat est à pondérer du fait que la situation d'appui unipodal simple est déjà en elle-même destabilisante et qu'ainsi une multiplication allant de 1,7 à 3,4 fois de la surface parcourue par le centre de pression est « énorme ».

Dans le cadre de son utilisation thérapeutique, pour améliorer la stabilité dans différentes pathologies, il faudrait bien sûr adapter la difficulté des exercices en fonction de l'état du patient. De très nombreuses pathologies entraînent des troubles de l'équilibre et par conséquent rendent possible (en complément d'autres techniques parfois spécifiques) l'utilisation du coussin Airex : les ataxies, les patients cérébelleux, les troubles vestibulaires, l'hémiplégie, la sclérose en plaques, les neuropathies, ainsi que d'autres maladies rares ou

simplement le vieillissement (35). Par exemple, un exercice bipodal YO sur coussin serait suffisant pour quelqu'un présentant de gros troubles de l'équilibre ou une personne âgée (pour travailler leur équilibre et diminuer le risque de chute) alors que, comme évoqué précédemment, le coussin pourrait être utilisé dans un cadre hors pathologie, par exemple chez des gymnastes dans le but de travailler leur équilibre (qui est primordial dans certaines de leurs disciplines type poutre, gymnastique au sol...), et cela dans des situations très instables type unipodal YO ou YF.

3.3. Etude du quotient de Romberg

Le signe de Romberg fut développé au 19^{ème} siècle par Moritz Romberg (neurologue allemand) et conserve une place importante aujourd'hui du fait de son utilité à montrer l'importance de la vision dans le contrôle postural (11). La valeur moyenne, retrouvée dans la littérature du quotient de Romberg, est de 250 (5,13).

Tableau III : analyse du quotient de Romberg

Variable	Nombre	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
<u>Sans Airex</u>	40	338.6 (m1)	609.7	13.2	3461.1
<u>Avec Airex</u>	40	434.2 (m2)	416.0	60.9	1893.8

La différence des moyennes observées avec et sans le coussin est-elle significative ?

$$m1-m2 = 95.6 \quad p = 0.42$$

Conclusion : le quotient de Romberg moyen que nous retrouvons est supérieur à la norme décrite dans la littérature. Par ailleurs, certes la moyenne des coefficients de Romberg avec le coussin Airex (434.2) est supérieure à celle sans le coussin Airex (338.6) mais aucune différence précisément évaluée n'a pu être mise en évidence (le coussin n'influence pas le Romberg de manière statistiquement significative même si auparavant nous avons fait remarquer l'importance de la vue pour s'équilibrer sur Airex, surtout en unipodal ; or le Romberg n'est pas, à notre connaissance, décrit dans cette situation). Concernant notre échantillonnage, 10 personnes sont plus stables les yeux fermés que les yeux ouverts. Par ailleurs, un de nos sujets a quant à lui une stabilité identique qu'il ait les yeux ouverts ou fermés. Nous pouvons donc dire qu'il n'a pas besoin de la vue pour s'équilibrer (D-F.J 001). Ce patient peut être qualifié d' « amblyope postural » : des stimuli visuels corrects ne sont pas intégrés dans le fonctionnement de circuits auxquels ils devraient normalement participer (7).

3.4. Etude de la latéralité

Tableau IV : moyenne des longueurs et surfaces en fonction de la latéralité

		Latéralité		p
		Droite n=29 (ET)	Gauche n=11 (ET)	
S A N S	Surface en unipodal gauche YO	259.5 (187.4)	204.2 (119.1)	0.36
	<u>Longueur en unipodal gauche YO</u>	62.6 (14.4)	63.5 (16.8)	0.87
	Surface en unipodal droit YO	241.5 (152.2)	191.0 (101.8)	0.18
	<u>Longueur en unipodal droit YO</u>	59.6 (11.7)	58.9 (8.5)	0.86

A I R E X	<u>Surface en unipodal gauche YF</u>	1444.2 (1301.7)	1116.5 (454.2)	0.24
	<u>Longueur en unipodal gauche YF</u>	117.5 (32.2)	115.3 (31.0)	0.84
	<u>Surface en unipodal droit YF</u>	1316.5 (941.4)	1463.0 (702.8)	0.64
	<u>Longueur en unipodal droit YF</u>	119.7 (33.8)	138.2 (36.7)	0.14
A V E C	<u>Surface en unipodal gauche YO</u>	538.2 (419.4)	394.1 (270.6)	0.21
	<u>Longueur en unipodal gauche YO</u>	76.5 (14.5)	74.6 (12.8)	0.67
	<u>Surface en unipodal droit YO</u>	403.7 (287.8)	317.7 (168.4)	0.25
	<u>Longueur en unipodal droit YO</u>	77.2 (9.6)	74.5 (7.1)	0.34
A I R E X	<u>Surface en unipodal gauche YF</u>	3854.1 (3113.6)	3515.5 (2976.3)	0.76
	<u>Longueur en unipodal gauche YF</u>	145.3 (56.7)	148.6 (55.9)	0.87
	<u>Surface en unipodal droit YF</u>	4250.1 (2553.5)	5529.2 (5919.7)	0.5
	<u>Longueur en unipodal droit YF</u>	162.2 (43.0)	188.9 (59.8)	0.2

Aucune différence statistiquement significative ne permet de conclure à une meilleure stabilité du pied dominant par rapport au non dominant.

Nous voyons que dans la plupart des cas le pied dominant est légèrement plus stable que le non dominant sauf dans le cas en unipodal droit les yeux ouverts avec et sans Airex où bizarrement le pied gauche, non dominant, est plus stable que le pied droit. Le fait que dans notre population les lésions étaient plus fréquentes (au niveau des membres inférieurs) à droite peut en partie expliquer un tel phénomène et ce malgré le fait qu'elles étaient « anciennes » et donc cicatrisées. Au niveau des entorses de chevilles par exemple, pathologies que nous avons le plus répertorié chez nos sujets, nous notons 14 entorses à droite pour seulement 3 à gauche. Il faut par ailleurs ajouter les anciennes fractures malléolaire, de

tibia et les entorses de genou, elles aussi plus fréquentes à droite. Cependant aucun des facteurs relevés ne permet d'accréditer la thèse d'une meilleure stabilité du pied dominant.

3.5. Comparaison des performances sportifs/non sportifs

Dans 7 situations sur 12 la stabilité des sportifs est «meilleure» que celle des non sportifs mais, là aussi, aucune différence statistiquement significative n'a été établie (annexe VII).

4. DISCUSSION

Tout d'abord, il faut rappeler que la plate-forme Biorescue n'est pas normée mais cela n'avait pas d'importance car nous ne souhaitons pas comparer nos résultats à des normes mais simplement mettre en évidence une différence entre deux situations ; la première sans coussin et la deuxième avec.

Nous avons donc voulu, grâce à cette étude, montrer l'efficacité du coussin Airex en terme de déséquilibre induit et donc par la même occasion son utilité dans la rééducation proprioceptive ou dans la rééducation de l'équilibre.

Avec le fait d'interposer le coussin Airex entre la plate-forme et les pieds, nous pouvons nous interroger sur le degré de précision des mesures avec celui-ci. L'empreinte plantaire au repos étant élargie avec le coussin, les pressions par cm² enregistrées par la plate-forme ont donc été moins importantes et ainsi certaines petites oscillations ont pu paraître inaperçues.

Le coussin déstabilise assurément. Alors que Perrin et al (21), dans leur étude, montrent une multiplication de 1,1 environ de la surface parcourue par le centre de pression après interposition d'une mousse en bipodal sur leurs sujets sains (YO et YF), avec Airex nous obtenons des valeurs 5 (YO) à 7 (YF) fois supérieures ce qui atteste de son haut pouvoir déstabilisant. Il aurait été intéressant de voir avec l'aide d'un E.M.G par exemple, comme dans d'autres études (3), l'intensité de la contraction des muscles de la cheville en particulier car nos vidéos montrent un gros travail proprioceptif à ce niveau. Sur Airex la cheville paraît presque « désarticulée » en unipodal les yeux fermés avec une danse des tendons très intense due à la contraction des muscles pour ainsi permettre le maintien du centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation et éviter la chute. Nous pourrions également vérifier si ces réponses musculaires sont plus fréquentes et fortes sur Airex que sur un plateau de Freeman ou un autre outil de rééducation. Les réponses musculaires, au niveau de la cheville, nous ont semblé supérieures en nombre par rapport à celles observées traditionnellement sur plateau de Freeman de type II (circulaire supporté par une section de sphère et entraînant une bascule dans tous les plans) ; cela est totalement subjectif mais ne demande qu'à être démontré.

Toulotte et al (30) constatent, dans leur étude chez des sujets âgés chuteurs et non chuteurs, qu'après un entraînement physique comprenant des exercices de renforcement musculaire et des exercices d'équilibre statique et dynamique il y a une amélioration de l'équilibre unipodal. Nous serions aussi en mesure de comparer si cette amélioration serait plus significative ou non en utilisant des exercices sur coussin Airex. Perrin et al (19) ont quant à eux mis en évidence des progrès supérieurs de la stabilité chez des personnes pratiquant du yoga ou de la gymnastique douce que chez celles pratiquant la course à pied ou

la nage ; dans le même ordre d'idée nous vérifierions si un entraînement sur Airex obtient encore de meilleurs résultats.

Les mesures en unipodal les yeux fermés sur Airex sont à relativiser car les sujets se sont tous retenus aux moyens mis à leur disposition c'est-à-dire à la table ou moi-même et cela un nombre variable de fois allant de 3 à 11 (voir annexe V) le tout avec un temps d'appui que nous ne pouvions mesurer même si la consigne était de se retenir le moins longtemps possible. Les valeurs de surface et de longueur en ont donc forcément été affectées. Il conviendra de privilégier cette situation très instable à la rééducation de sportifs notamment. Il y a eut d'autres situations où quelques sujets ont été obligés de se retenir mais cela était beaucoup moins systématique et le biais dans les mesures était donc diminué (voir annexe V).

Nous noterons encore quelques valeurs ne correspondant pas aux résultats généraux obtenus :

- Certains sujets sont plus stables les yeux fermés que les yeux ouverts. Nous nous sommes interrogés sur le caractère « anormal » ou non de ces chiffres. En effet il est communément admis qu'en règle générale, (en l'absence d'entraînement ou de sports stimulant particulièrement les afférences proprioceptives comme le judo ou le karaté) les sujets sont plus instables avec les yeux fermés que lorsqu'ils les ouvrent. Viel et al, dans leur évaluation stabilographique de l'équilibre de sujets sains, retrouvent environ les mêmes proportions. Dans leur étude 4 sujets sur 22 sont plus stables les yeux fermés que les yeux ouverts (4). Ce sont en fait des patients que les posturologues qualifient d' « aveugles posturaux ».

- En unipodal cela peut s'expliquer de par le caractère déjà instable de la position et donc de ce fait, sur un instant donné, certains sujets ont pu être déstabilisés entraînant des valeurs très

différentes de la moyenne. De plus, notamment certaines entorses ou autres pathologies des membres inférieurs de plus de 6 mois ne faisaient pas partie des critères d'exclusion et peuvent expliquer dans certains cas des résultats supérieurs aux moyennes observées, en cas de « mauvaise rééducation » des sujets (ou de son absence) suite à leurs troubles par exemple. Par ailleurs certains de ces sujets étaient porteurs de lunettes, laissant supposer qu'en cas de mauvaise correction de la vue ceux-ci ont vu leur stabilité diminuée, notamment lors des situations avec les yeux ouverts. Paulus et al ont montré, en diminuant progressivement l'acuité visuelle, par des filtres, que la précision de la régulation posturale lui est étroitement corrélée : plus elle diminue, plus les surfaces du statokinésigramme se rapprochent, chez le même patient, de celles enregistrées yeux fermés (13). De cela nous pouvons amener une critique constructive : il paraît judicieux de demander aux sujets porteurs de corrections la date de leur dernier contrôle ophtalmologique en vue de savoir si les lunettes ou lentilles sont toujours efficaces. Pour finir, peut être aussi que la stabilité de ces sujets a été diminuée par des problèmes viscéraux ou psychologiques (20).

- En bipodal nous remarquons quelques valeurs bien supérieures aux moyennes et cela est beaucoup moins explicable ; les conditions étaient pourtant les mêmes pour tous et en bipodal la stabilité de chacun aurait dû être à peu près la même étant donné que nous étions dans un champ hors pathologies (y compris visuelles). Néanmoins nous ne souhaitons pas refaire les mesures car nous ne voulions pas tomber dans une logique du « ce n'est pas bien, ce n'est pas les chiffres qu'il nous faut ». Comme le montrent Forsman et al dans leur article (6), la stabilité des gens diminue durant la journée donc les sujets ayant participé à l'étude en fin de matinée ont pu avoir un désavantage par rapport à ceux du début de matinée. Une hypermobilité articulaire tout comme un manque de sommeil, (non demandés dans le

questionnaire), peuvent également affecter la stabilité ainsi que les informations transmises par les organes tendineux (17, 25).

Nous avons pu noter une certaine fatigue chez nos sujets, eux-mêmes nous disant souvent, après coup, que cela n'était pas facile de faire tous les exercices à la suite. En effet durant tous les tests, le temps passé sur la plate forme était de 8 minutes, avec certains tests sur coussin difficiles. Nous pensons néanmoins que cette fatigue était la même pour tous et que du fait du tirage au sort des « épreuves » cette fatigue n'a pas altéré la valeur de nos résultats. La fatigue ayant été maximale pour certains lors de tests bipodal sans coussin (car épreuve tirée au sort en dernier par l'étudiant) alors que pour d'autres elle intervenait lors des tests en unipodal sur Airex. Mais ces différences peuvent être jugées amoindries de par un passage aléatoire pour la totalité des épreuves et pour toute notre population. Par ailleurs l'horaire de passage entre 8 heures et midi peut être influencé par l'heure du coucher et du lever, ce qui a pu jouer sur cette même fatigue compte-tenu de la durée du sommeil.

Accorder un temps de repos de 1 ou 2 minutes entre chaque mesure, sachant que pour tester une personne cela prenait 20 minutes, aurait donc engendré des tests extrêmement longs et sans garantir qu'aucune fatigue ne serait intervenue. Peut être toutefois aurait-il été intéressant de refaire l'intégralité des mesures avec un temps de repos pour comparer.

De plus, selon la HAS, l'effet d'apprentissage précédemment cité est d'autant plus important que les tests sont rapprochés (35). Par conséquent, en plus du tirage au sort qui avait pour but de lutter contre cela, ajouter un temps de repos aurait pu accentuer ce « non apprentissage ».

5. CONCLUSION

Cette expérimentation avait pour but de montrer l'influence du coussin Airex sur la stabilité du corps et celle-ci a clairement été démontrée. Il est donc très utile à utiliser pour la rééducation de l'équilibre et/ou proprioceptive. Nous avons vu l'importance du déséquilibre qu'il crée dans différentes situations sachant que : comparativement aux situations initiales (sans coussin) ; c'est en réalité sur deux jambes qu'il déstabilise le plus. L'étude a par ailleurs permis de vérifier l'importance de la vue dans l'équilibration mais n'a pas démontré clairement une meilleure stabilité du pied dominant ; ni des sportifs.

Il serait intéressant de voir avec cette même plate-forme si d'autres outils de rééducation proprioceptive auraient la même efficacité en termes de déstabilisations ; mais en même temps peu d'entre eux procurent des situations enregistrables sur baropodomètre. On pourrait comparer également l'efficacité du balance pad plus Airex avec un simple coussin ou un tapis en mousse assez épais.

Enfin, nous pourrions également contrôler, avec son usage régulier, à quel point l'équilibre des patients serait augmenté et cela dans un cadre pathologique ou non. Ceci en s'appuyant sur un BDK initial mettant en évidence des problèmes d'équilibre dûs à un déficit proprioceptif ; BDK à refaire par la suite pour vérifier l'avancée des progrès.

BIBLIOGRAPHIE

1. **BELHASSEN S., GASTAL A., HERISSON C., GARLENK B.** – Equilibre et sensibilité cutanée plantaire : de la théorie à la pratique - WEBER B., VILLENEUVE PH. – Pied, équilibre et traitements posturaux. – Paris : Massion, 2003. – p. 69-80.
2. **BRUN V.** – Evaluation instrumentale : la stabilométrie. - Posture, équilibration et médecine de rééducation. – Paris : Masson, 1993. – p. 130 – 141.
3. **COUTAGNE X., MONNET S., LEMPEREUR J. J.** – Activité des muscles fibulaires sur différents appareils de rééducation proprioceptive. – Kinésithérapie la revue, 2008, 83, p. 34-38.
4. **EL-OUAER N., VIEL E., PILLU M.** – Evaluation stabilographique de la capacité des sujets sains à maintenir leur équilibre. – Annales de kinésithérapie, 1996, 23, 5, p. 217 – 222.
5. **FAVRE J. F.** – De la physiologie de la station debout à la thérapeutique de certaines dysfonctions de l'activité posturale. – Annales de kinésithérapie, 1993, 20, 6, p. 303 - 308.
6. **FORSMAN P., PHIL L.** – Daytime changes in postural stability and repeatability of posturographic measurements. – JOEM, 2007, 49, 6, p. 591 – 596.
7. **GAGEY P. M., WEBER B.** – Posturologie : régulation et dérèglements de la station debout. – 3^{ème} édition. – Paris : Masson, 2004. – 201 p.
8. **GOURIET A.** – Proprioception et reprogrammation sensori-motrice. – Kiné actualité, 2004, 959, p. 22 – 24.

9. **GUIBAL C.** – La proprioception, bases physiologiques. – **CAILLENS J.P., JAROUSSE Y., GUIBAL C.** – Echanges en rééducation. – Montpellier : Sauramps Medical, 1989. – p.147 – 153.
10. **LAMY J. C.** – Bases neurophysiologiques de la proprioception. – *KS*, 2006, 472, p. 15 – 23.
11. **LANSKA DS.** – The Romberg Sign and early instruments for measuring postural sway. – *Séminaire de neurologie*, 2002, 12, 4, p. 409 – 418.
12. **LASKOWSKI E., NEWCOMER-ANEY K., SMITH J.** – Proprioception. – **YOUNG J.** - Physical Medicine and Rehabilitation, clinics of North America. - Philadelphia: Heidi Steinmetz Lovette, 2000. – p. 323 – 340 ; 11.
13. **MARUCCHI C., ZAMFIRESCU F., WEBER B.** –L’ophtalmologiste et la posture. – *Annales de kinésithérapie*, 1993, 20, 6, p. 319-324.
14. **MASSIOT M.** – Du plateau de Freeman aux appareils de coordination. – *Kiné actualité*, 2008, 1112, p. 36 – 39.
15. **MASSIOT M., GUILLEMOT J. C.** – Posture, posturologie et équilibre : les apports technologiques. – *Kiné actualité*, 2010, 1185, p. 19 – 22.
16. **MESURE S., PELLAS F., DELARQUE A., CREMIEUX J.** – Contrôle visuel de la posture et entraînement. - *Posture, équilibration et médecine de rééducation.* - Paris : Masson, 1993, p. 33- 38.

17. **PATEL M., GOMEZ S., BERG S.** – Effects of 24-h and 36-h sleep deprivation on human postural control and adaptation. – *Experimental brain research*, 2008, 185, 2, p.165 – 173.
18. **PELISSIER J., BRUN V., ENJALBERT M.** - Posture, équilibration : quelques repères pour le rééducateur. - *Posture, équilibration et médecine de rééducation*. - Paris : Masson, 1993. – p. 1 – 3.
19. **PERRIN P., GAUCHARD G., JEANDEL C.** – Physical and sporting activities improve vestibular afferent usage and balance in elderly human subjects. – *Gerontology*, 2001, 47, p. 263 - 270.
20. **PERRIN P., LESTIENNE F.** – Mécanismes de l'équilibration humaine – Paris : Masson, 1994. – 163 p.
21. **PERRIN P., VOURIOT A., HANNHART B.** – Long-term exposure to solvents impairs vigilance and postural control in serigraphy workers. – *Int Arch Occup Environ Health*, 2005, 78, p. 510 – 515.
22. **REMY-NERIS O., AZOUVI PH., JOKIC C., MONTEIL I., BUSSEL B.** – Principes de la rééducation posturale : les vicariances. - *Posture, équilibration et médecine de rééducation*. - Paris : Masson, 1993. – p. 142 – 147.
23. **ROCCHI L., CHIARI L., CAPELLO A.** – Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis. – *Med. Biol. Eng. Comput*, 2004, 42, p. 71 – 79.
24. **RODINEAU J.** – Proprioception : actualités 2004. 1^{ère} édition. – Paris : Springer-Verlag France, 2004. – 134 p.

- 25. ROGIND H., LYKKEGAARD J.** – Postural sway in normal subjects aged 20 – 70 years. – Clin Physiol and Func Im, 2003, 23, p. 171 – 176.
- 26. ROLL J.-P.** – Quelques faits d'actualité concernant la proprioception : « la peau des muscles ». - WEBER B., VILLENEUVE Ph. - Posturologie clinique : tonus, posture et attitudes. – Paris : Masson, 2010. – p. 2-8.
- 27. ROLL J.-P., KAVOUNOUDIAS A., ROLL R., RIBOT-CISCAR E., ALBERT F., ROMAIGUERE P.** – La proprioception musculaire : sixième sens ou sens premier ? – WEBER B., VILLENEUVE PH. – Pied, équilibre et traitements posturaux. – Paris : Masson, 2003. – p. 22 – 34.
- 28. SIMONEAU GG., ULBRECHT JS., DERR JA., CAVANAGH PR.** – Role of somatosensory input in the control of human posture. – Gait and posture, 1995, 3, 3, p. 115 – 122.
- 29. SORNAY Y.** – Corrélation Equitest- Multitest. – KS, 2003, 436, p. 7 – 10.
- 30. ELSEVIER TOULOTTE C., THEVENON A., FABRE C.** – 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, 2004, 47, 9, p. 604 – 610.
- 31. THOUMIE P.** – Posture, équilibre et chutes : bases théoriques de la prise en charge en rééducation. – Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-452-A-10, 1999, 11 p.
- 32. VAILLANT J.** – Anatomie et physiologie du système nerveux assurant la somesthésie. – KS, 2006, 469, p. 57- 58.

33. VIEL E. – Le point sur la rééducation par la proprioception : déceptions et concepts utilisables. - Journal de traumatologie du sport, 2001, 18, 2, p. 93 – 103.

Autres références:

34. QUAGLIERINI J. – Effets d'un programme d'entraînement spécifique en proprioception sur l'équilibre chez le karateka de haut niveau. – Mémoire présenté en vue de l'obtention du Master 2 Professionnel Sciences du Mouvement Humain : Université Montpellier 1 : 2006. – 31 pages.

35. www.has-sante.fr

ANNEXES

I : Questionnaire

II : Tableaux de mesures

III : Description de la base de données

IV : Exemples de statokinésigrammes d'un sujet « moyen »

**V : Nombre de rattrapage(s) au cours des différentes situations
chez les différents sujets**

VI : Graphiques présentant les mesures

**VII : Tableaux de comparaison des performances sportifs/non
sportifs**

ANNEXE I : Questionnaire

Nom-Prénom :

Sexe : F/H

Age :

Taille :

Poids :

Latéralité (membre inférieur dominant) :

Sport(s) pratiqué(s) actuellement et à quelle fréquence :

Antécédents orthopédiques récents (moins de 6 mois) :

Antécédents orthopédiques de plus de 6 mois :

Pointure :

Port de lunettes ou lentilles :

Médications actuelles ou régulières :

Fumeur : oui/non

Troubles mandibulaires ?

Troubles vestibulaires ?

Prise de café, thé ou alcool 1h avant l'examen ?

Existence de douleurs à l'appui ?

ANNEXE II : Tableaux de mesures

Sexe : 0 = femme ; 1 = homme

Sp = sportif (0 = non ; 1 = oui)

Lat = latéralité (1 = droitier ; 0 = gaucher)

S = surface en mm²

L = longueur en cm

bip = bipodal

uni = unipodal

YO = yeux ouverts

YF = yeux fermés

G = gauche

D = droit

A = Airex

Remarque : Abréviations valables pour toutes les annexes

	Sexe	Lat	Sp	S bip YO	L bip YO	S bip YF	L bip YF	S bip YO+A	L bip YO+A	S bip YF+A	L bip YF+A	S uni G YO	L uni G YO
<u>M.S001</u>	0	1	1	21	56.4	4	57.6	70	138.8	246	146.7	345	49.6
<u>R.L001</u>	0	1	1	14	73.8	96	73.6	101	162.9	1095	195.5	70	39.0
<u>M.M001</u>	0	1	1	4	67.5	78	62.2	150	134.8	387	149.7	82	56.4
<u>S.J001</u>	0	1	0	8	62.7	30	62.8	69	133.9	109	139.2	210	63.2
<u>P.C001</u>	0	1	0	5	80.7	6	73.5	38	138.1	164	169.1	282	67.5
<u>B.M001</u>	0	1	1	14	66.3	17	66.1	59	120.7	180	123.7	182	53.1
<u>T.H001</u>	0	1	1	21	66.1	25	64.3	63	127.9	238	156.9	523	73.4
<u>M.F001</u>	0	1	1	18	63.6	623	84.8	186	121.6	605	135.0	297	44.7
<u>L.A001</u>	0	1	1	28	58.3	19	55.9	41	104.3	79	117.6	312	50.7
<u>J.M001</u>	0	0	0	3	51.8	16	58.8	50	125.2	152	134.4	393	56.6
<u>H.D001</u>	0	0	1	9	66.1	4	61.7	70	130.6	174	151.8	309	69.3
<u>L.D001</u>	0	0	1	38	73.8	13	79.9	48	114.9	159	134.8	76	49.3
<u>P.E001</u>	0	1	1	4	58.5	11	62.8	63	130.0	362	144.3	79	46.0
<u>C.M001</u>	0	1	1	12	68.1	119	73.0	189	130.2	174	141.8	77	46.1
<u>C.F001</u>	0	1	1	17	54.4	6	55.7	210	116.2	312	133.4	183	53.4
<u>C.B001</u>	0	1	1	128	69.1	64	69.2	177	142.2	370	163.1	378	68.9
<u>G.V001</u>	0	1	1	3	49.3	16	61.6	136	110.7	500	137.1	111	56.1
<u>M.L001</u>	0	0	0	69	76.9	89	65.6	109	134.4	722	159.3	329	66.7
<u>G.N001</u>	0	1	1	12	53.4	19	57.1	73	119.2	159	124.1	92	64.2
<u>S.C001</u>	0	0	0	6	53.5	23	57.7	32	120.1	606	159.8	157	46.4
<u>B.J001</u>	1	0	1	17	68.6	39	66.7	24	127.4	307	159.4	164	72.9

	Sexe	Lat	Sp	S bip YO	L bip YO	S bip YF	L bip YF	S bip YO+A	L bip YO+A	S bip YF+A	L bip YF+A	S uni G YO	L uni G YO
<u>B.E001</u>	1	1	1	38	75.1	5	69.5	38	130.5	271	130.0	985	92.2
<u>G.J- Y001</u>	1	0	1	21	66.9	8	67.7	160	141.3	336	144.3	89	59.6
<u>P.A001</u>	1	1	1	4	57.2	6	58.5	55	127.9	395	156.1	169	76.4
<u>T.R001</u>	1	0	1	9	65.8	16	63.3	38	137.2	531	142.1	349	105.6
<u>B.N001</u>	1	1	1	5	63.6	7	62.9	96	145.8	115	161.2	129	47.0
<u>S.D001</u>	1	1	1	7	62.8	10	69.8	30	134.3	204	136.3	443	92.3
<u>C.B002</u>	1	1	1	8	62.9	8	59.6	107	135.9	167	134.3	136	58.7
<u>C.M001</u>	1	1	1	3	69.7	13	58.5	127	146.3	281	141.2	222	80.1
<u>A.F001</u>	1	1	1	8	65.0	25	59.2	290	133.3	328	182.5	345	89.9
<u>C.O001</u>	1	1	1	9	88.2	19	68.3	33	158.6	434	158.3	243	65.8
<u>DF.J001</u>	1	1	1	5	60.2	5	68.5	51	131.6	204	166.5	467	69.9
<u>L.S001</u>	1	0	1	27	62.4	8	60.5	54	118.5	164	127.8	126	67.3
<u>H.M001</u>	1	1	1	17	67.7	30	73.0	199	146.1	465	169.6	109	51.7
<u>F.J001</u>	1	1	1	25	69.1	23	71.6	115	149.1	304	181.6	206	55.7
<u>B.D001</u>	1	1	1	27	55.6	42	63.4	151	112.2	169	141.7	211	68.8
<u>B.A001</u>	1	0	1	5	78.6	6	69.8	109	145.2	105	154.7	67	44.8
<u>CP.A001</u>	1	1	1	14	47.3	37	55.4	122	138.2	402	132.6	356	62.9
<u>N.F001</u>	1	1	1	32	58.5	114	57.1	88	116.5	141	128.3	283	72.8
<u>S.D002</u>	1	0	0	13	61.6	28	63.3	84	131.6	112	124.5	187	60.0

	S uni D YO	L uni D YO	S uni G YF	L uni G YF	S uni D YF	L uni D YF	S uni G YO A	L uni G YO A	S uni D YO A	L uni D YO A	S uni G YF A	L uni G YF A	S uni D YF A	L uni D YF A
<u>M.S001</u>	181	40.2	1168	105.3	1933	155.0	619	70.5	293	68.5	3638	148.5	5836	179.3
<u>R.L001</u>	36	34.4	645	72.2	822	97.1	224	69.7	178	69.9	1150	103.2	1646	147.9
<u>M.M001</u>	191	64.2	723	114.0	946	121.7	151	71.8	215	65.2	2564	106.1	1883	119.2
<u>S.J001</u>	233	50.3	383	61.0	1543	87.0	415	57.4	234	80.6	982	82.6	2445	137.7
<u>P.C001</u>	471	73.5	1724	129.6	626	88.8	427	62.9	375	77.3	13430	174.1	589	85.7
<u>B.M001</u>	192	59.8	1050	131.7	1495	110.2	471	64.0	312	75.3	7261	230.0	3543	178.0
<u>T.H001</u>	238	67.0	849	114.0	748	117.6	1318	121.8	902	84.7	2548	140.6	5400	205.5
<u>M.F001</u>	206	45.0	6930	128.4	501	64.8	371	69.2	331	93.9	2067	104.3	1422	94.6
<u>L.A001</u>	152	56.2	1706	99.4	1633	105.9	1349	82.1	1313	90.4	4184	110.6	2785	137.5
<u>J.M001</u>	123	58.5	736	92.6	1589	150.1	279	70.2	308	67.3	5796	234.9	5983	237.3
<u>H.D001</u>	194	73.1	420	85.0	1463	152.2	311	91.2	591	80.0	1383	121.9	1410	120.8
<u>L.D001</u>	96	48.7	1659	101.2	624	86.4	145	52.3	179	61.8	891	91.0	1156	100.9
<u>P.E001</u>	151	51.2	1454	118.7	2494	200.2	196	62.1	209	69.5	3250	113.1	3357	163.3
<u>C.M001</u>	96	41.7	892	130.8	589	104.3	182	60.3	149	63.5	1381	104.1	4876	173.7
<u>C.F001</u>	123	49.6	1397	123.1	784	96.6	205	65.1	171	64.7	1452	109.9	9412	145.4
<u>C.B001</u>	167	53.5	718	92.4	1683	144.0	435	63.6	658	68.0	314	70.0	1404	83.8
<u>G.V001</u>	118	51.7	656	100.4	1180	98.6	223	58.6	113	60.6	4551	127.0	2955	131.2
<u>M.L001</u>	381	64.4	1241	99.1	1407	110.7	453	77.2	612	69.4	3736	116.6	4024	142.8
<u>G.N001</u>	162	70.9	1222	112.9	818	115.8	465	81.5	254	75.2	1982	98.8	4893	137.7
<u>S.C001</u>	287	48.4	833	93.4	1315	134.1	332	76.9	467	68.1	11207	263.5	10213	250.4

	S uni D YO	L uni D YO	S uni G YF	L uni G YF	S uni D YF	L uni D YF	S uni G YO A	L uni G YO A	S uni D YO A	L uni D YO A	S uni G YF A	L uni G YF A	S uni D YF A	L uni D YF A
<u>B.J001</u>	172	63.4	999	116.9	805	95.3	306	63.4	193	73.8	907	97.3	1924	128.1
<u>B.E001</u>	514	69.8	3090	196.8	2939	214.2	377	78.5	222	77.4	3266	146.8	5812	221.0
<u>G.J-Y001</u>	94	48.7	999	93.1	1637	118.6	380	68.9	336	74.3	4685	130.3	2387	168.7
<u>P.A001</u>	141	62.2	351	79.3	499	98.6	493	81.6	214	84.7	1894	119.9	969	136.4
<u>T.R001</u>	158	56.5	1360	165.2	1066	127.7	201	66.9	138	79.5	2282	131.3	1970	190.0
<u>B.N001</u>	587	68.0	306	69.7	483	76.4	298	89.2	623	74.7	2162	125.8	902	102.2
<u>S.D001</u>	566	78.7	949	133.6	1610	129.0	263	79.3	176	74.5	2229	155.9	7051	214.4
<u>C.B002</u>	75	46.1	3142	118.9	950	114.6	170	78.0	190	73.9	1967	162.8	4410	185.5
<u>C.M001</u>	139	58.8	1727	171.1	589	98.5	168	72.9	403	72.1	7655	261.3	7335	250.7
<u>A.F001</u>	141	66.2	761	139.4	1728	136.6	1252	91.7	770	83.9	7202	234.2	3201	192.7
<u>C.O001</u>	238	65.3	1410	149.4	936	126.9	499	75.1	311	95.0	6592	209.2	3312	202.9
<u>DF.J001</u>	278	72.6	1196	156.4	765	122.5	1222	112.6	302	73.7	6333	200.5	4745	208.1
<u>L.S001</u>	134	60.2	1280	138.5	783	148.6	407	89.0	216	82.9	3106	187.9	4944	234.1
<u>H.M001</u>	168	54.4	2427	168.7	4894	153.3	448	75.7	440	70.4	11183	300.8	6911	180.0
<u>F.J001</u>	269	68.9	2601	121.8	701	117.9	198	79.3	358	90.0	4460	120.4	10701	209.0
<u>B.D001</u>	242	59.1	471	101.7	1518	130.0	1652	81.6	652	91.8	2245	159.5	3731	191.3
<u>B.A001</u>	114	55.4	747	107.2	2558	203.9	355	69.4	282	82.8	2107	135.9	5343	231.3
<u>CP.A001</u>	484	76.8	663	70.2	2165	163.5	740	80.3	985	87.2	1502	93.8	7052	148.9
<u>N.F001</u>	445	71.8	1271	98.1	607	82.9	777	82.9	356	81.7	2326	99.9	4675	139.0
<u>S.D002</u>	348	70.4	2007	175.9	2846	192.3	1166	94.6	173	79.4	2570	124.5	21467	273.7

Annexe III : Description de la base de données

<u>Variable</u>	<u>Niveau</u>	<u>Nombre</u>	<u>Proportion</u>
Sexe	0	20	50
	1	20	50
Sport	0	6	15
	1	34	85
Latéralité	0	11	27.5
	1	29	72.5
Antécédents	0	8	20
	1	32	80
Pointure	36	2	5
	37	3	7.5
	38	11	27.5
	39	3	7.5
	41	2	5
	42	4	10
	43	8	20
	45	6	15
	46	1	2.5

<u>Variable</u>	<u>Nombre</u>	<u>Moyenne</u>	<u>Ecart type</u>	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>
Age	40	22.3	3.5	19.0	37.0
Poids	40	68.9	13.6	49.0	108.0
Taille	40	1.7	0.1	1.5	1.9
S bip YO	40	18.2	22.0	3.0	128.0
L bip YO	40	64.4	8.7	47.3	88.2
S bip YF	40	43.2	98.8	4.0	623.0
L bip YF	40	64.8	6.8	55.4	84.8
S bip YO+A	40	100.1	62.5	24.0	290.0
L bip YO+A	40	131.6	12.7	104.3	162.9
S bip YF+A	40	305.7	202.3	79.0	1095.0
L bip YF+A	40	147.3	17.8	117.6	195.5
S uni G YO	40	244.3	171.7	67.0	985.0
L uni G YO	40	62.9	14.9	39.0	105.6
S uni D YO	40	227.6	140.7	36.0	587.0
L uni D YO	40	59.4	10.8	34.4	78.7
S uni G YF	40	1354.1	1136.4	306.0	6930.0
L uni G YF	40	116.9	31.5	61.0	196.8
S uni D YF	40	1356.8	876.0	483.0	4894.0
L uni D YF	40	124.8	35.2	64.8	214.2
S uni G YO+A	40	486.3	386.4	145.0	1652.0
L uni G YO+A	40	76.0	13.9	52.3	121.8
S uni D YO+A	40	380.1	261.2	113.0	1313.0
L uni D YO+A	40	76.4	9.0	60.6	95.0
S uni G YF+A	40	3761.0	3042.2	314.0	13430.0
L uni G YF+A	40	146.2	55.8	70.0	300.8
S uni D YF+A	40	4601.8	3741.8	589.0	21467.0
L uni D YF+A	40	169.5	48.9	83.8	273.7

ANNEXE IV : Exemples de statokinésigrammes d'un sujet « moyen »



Bipodal YO



Bipodal YF



Bipodal YO + A



Bipodal YF + A



Unipodal G YO



Unipodal D YO



Unipodal G YF



Unipodal D YF



Unipodal G YO + A



Unipodal D YO + A



Unipodal G YF + A



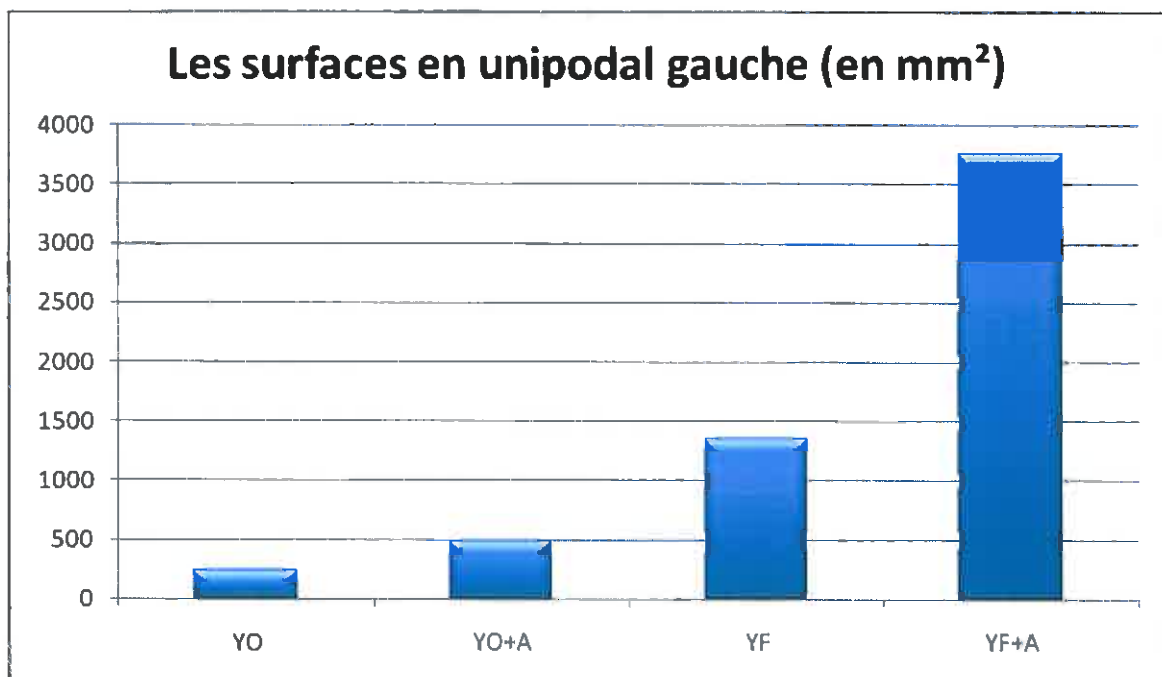
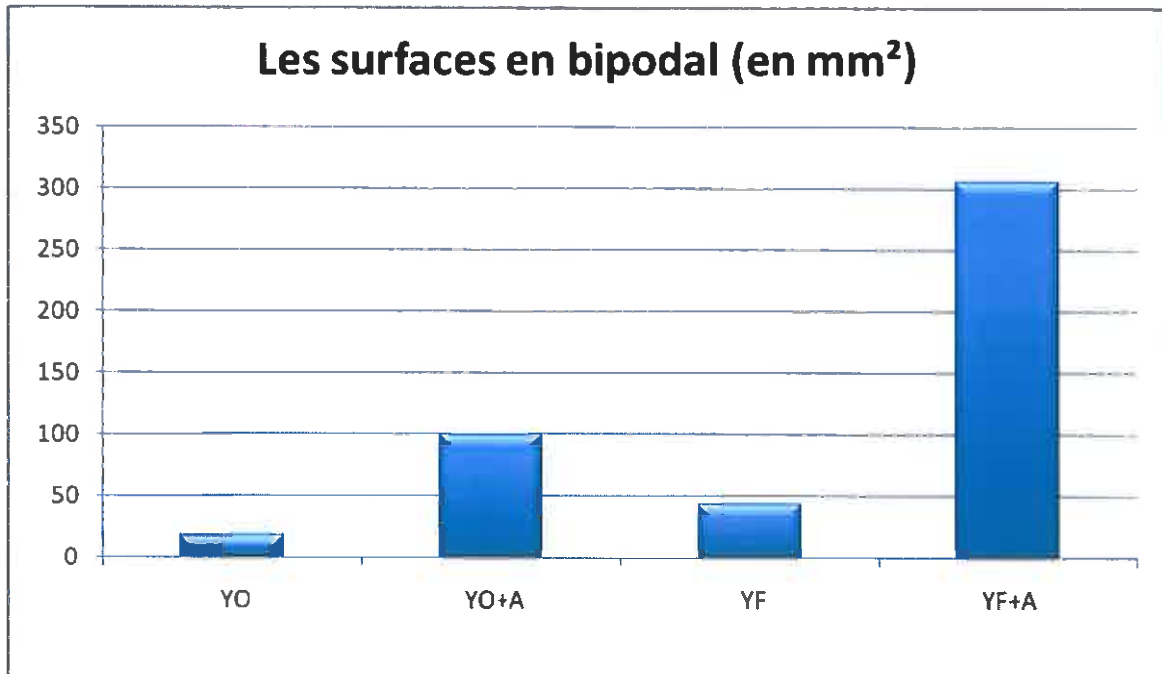
Unipodal D YF + A

Annexe V : Nombre de rattrapage(s) au cours des différentes situations chez les différents sujets

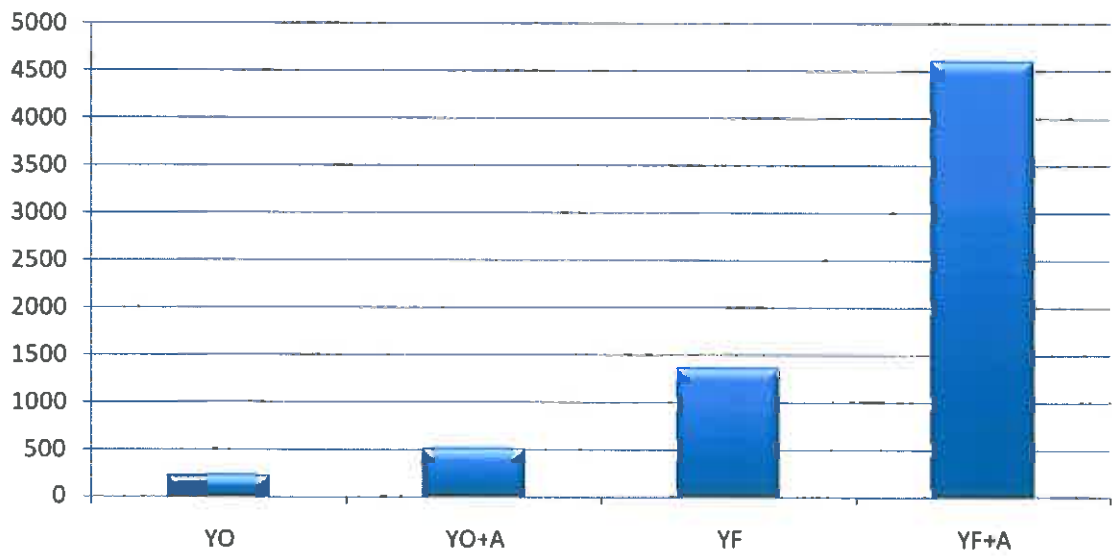
	Uni G YF	Uni D YF	Uni G YO+A	Uni D YO+A	Uni G YF+A	Uni D YF+A
M.S001	2	1	0	0	7	7
R.L001	0	0	0	0	6	3
M.M001	0	1	0	0	3	3
S.J001	0	0	0	2	3	4
P.C001	2	0	0	0	7	4
B.M001	2	1	0	0	9	5
T.H001	3	1	5	0	7	7
M.F001	1	1	0	2	7	8
L.A001	1	2	5	0	8	11
J.M001	0	0	0	0	5	9
H.D001	0	0	0	1	6	11
L.D001	2	0	0	1	3	4
P.E001	0	0	0	0	8	8
C.M001	0	0	0	0	1	3
C.F001	3	1	1	0	9	7
C.B001	0	1	0	0	0	2
G.V001	3	4	0	0	9	9
M.L001	3	0	1	0	7	9
G.N001	3	3	0	1	11	7
S.C001	0	1	0	0	6	8

	Uni G YF	Uni D YF	Uni G YO+A	Uni D YO+A	Uni G YF+A	Uni D YF+A
B.J001	0	2	0	0	3	6
B.E001	7	2	1	1	7	11
G.JY001	4	4	0	0	10	11
P.A001	3	1	1	0	6	7
T.R001	0	0	0	0	6	7
B.N001	4	3	0	0	10	8
S.D001	0	0	0	0	7	11
C.B001	1	1	0	0	9	8
C.M001	0	0	0	0	5	8
A.F001	0	1	0	0	9	7
C.O001	0	1	0	0	6	9
DF.J001	1	0	0	0	8	5
L.S001	0	0	0	0	4	8
H.M001	1	1	0	0	7	5
F.J001	0	0	0	0	8	11
B.D001	0	0	0	1	7	5
B.A001	1	2	0	0	8	8
CP.A001	4	4	3	1	4	5
N.F001	4	5	0	1	9	9
S.D001	0	2	0	0	7	5

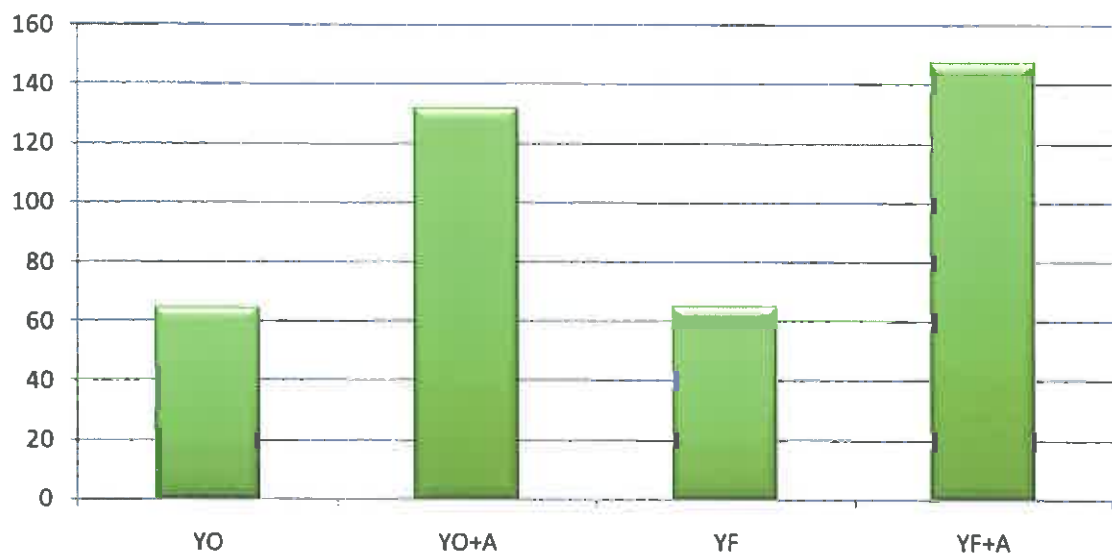
Annexe VI : Graphiques présentant les mesures



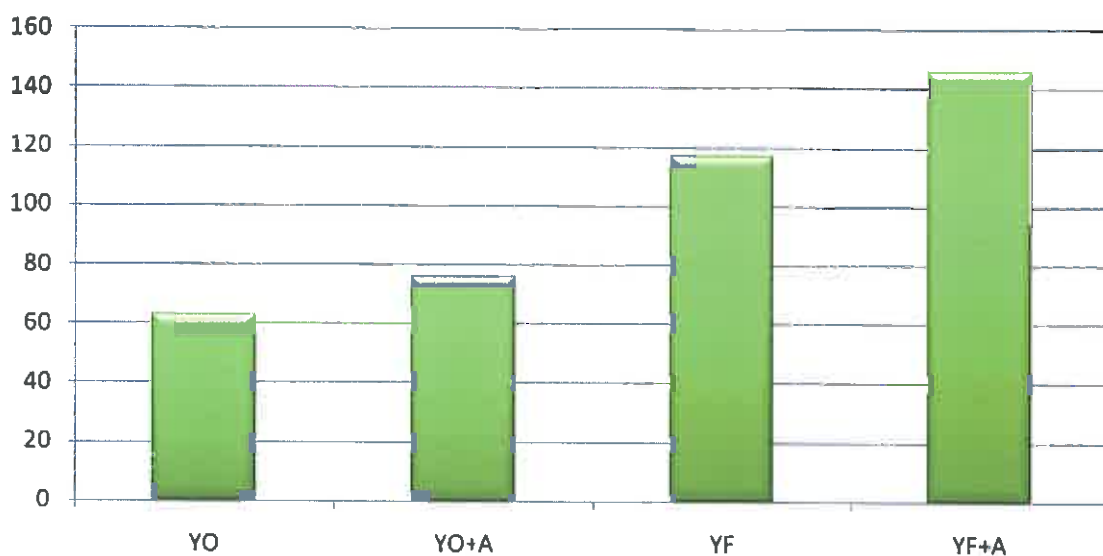
Les surfaces en unipodal droite (en mm²)



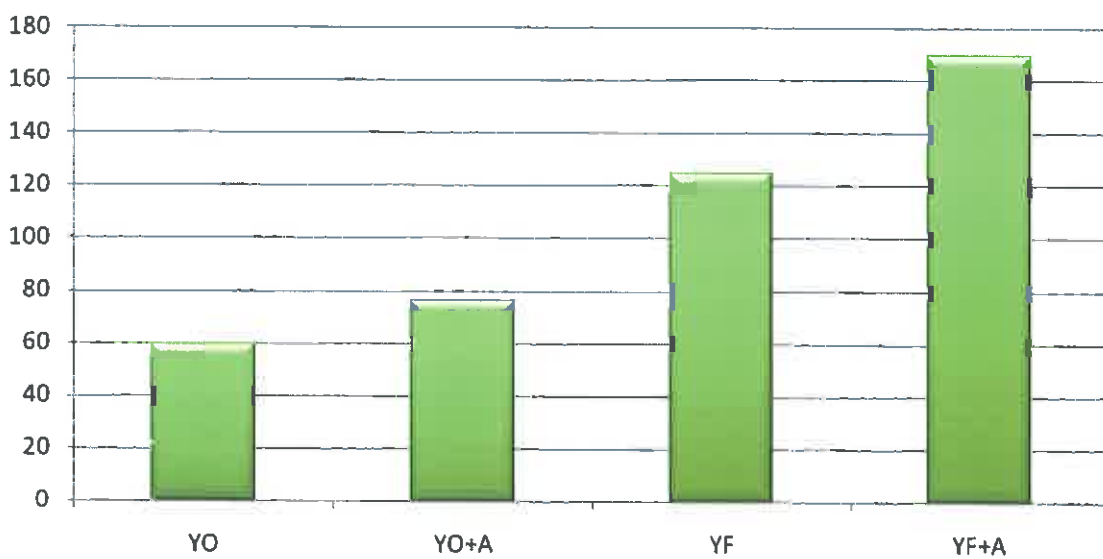
Les longueurs en bipodal (en cm)



Les longueurs en unipodal gauche (en cm)



Les longueurs en unipodal droite (en cm)



Annexe VII : Tableaux de comparaison des performances sportifs/non sportifs

		Activité sportive		p
		Oui n=34	Non n=6	
S	<u>Surface en bipodal YO</u>	18.4 (21.8)	17.3 (25.5)	0.9
	<u>Longueur en bipodal YO</u>	64.4 (8.3)	64.5 (11.9)	0.9
A	<u>Surface en bipodal YF</u>	45.1 (106.7)	32.0 (29.3)	0.5
	<u>Longueur en bipodal YF</u>	65.0 (7.0)	63.6 (5.7)	0.6
S	<u>Surface en unipodal gauche YO</u>	241.6 (183.1)	259.7 (91.0)	0.7
	<u>Longueur en unipodal gauche YO</u>	63.4 (15.8)	60.1 (7.8)	0.4
A	<u>Surface en unipodal droit YO</u>	213.6 (140.8)	307.2 (121.5)	0.1
	<u>Longueur en unipodal droit YO</u>	59.1 (11.0)	60.9 (10.4)	0.7
R	<u>Surface en unipodal gauche YF</u>	1389.4 (1207.9)	1154.0 (621.7)	0.5
	<u>Longueur en unipodal gauche YF</u>	118.4 (30.4)	108.6 (39.5)	0.6
E	<u>Surface en unipodal droit YF</u>	1321.9 (905.2)	1554.3 (722.6)	0.5
	<u>Longueur en unipodal droit YF</u>	124.4 (34.8)	127.2 (40.4)	0.9

		Activité sportive		p
		Oui n=34	Non n=6	
A	<u>Surface en bipodal YO</u>	103.6 (63.5)	80.3 (57.9)	0.4
	<u>Longueur en bipodal YO</u>	131.8 (13.6)	130.6 (6.7)	0.7
V	<u>Surface en bipodal YF</u>	304.8 (191.7)	310.8 (276.9)	0.9
	<u>Longueur en bipodal YF</u>	147.2 (18.1)	147.7 (17.5)	0.9
E	<u>Surface en unipodal gauche YO</u>	496.2 (400.3)	512.0 (327.0)	0.9
	<u>Longueur en unipodal gauche YO</u>	76.5 (14.2)	73.2 (13.1)	0.6
A	<u>Surface en unipodal droit YO</u>	383.4 (276.9)	361.5 (160.4)	0.8
	<u>Longueur en unipodal droit YO</u>	76.9 (9.4)	73.7 (6.1)	0.3
I	<u>Surface en unipodal gauche YF</u>	3315.3 (2411.9)	6286.8 (4978.7)	0.2
	<u>Longueur en unipodal gauche YF</u>	1427.7 (53.1)	166.0 (71.3)	0.5
R	<u>Surface en unipodal droit YF</u>	4098.6 (2452.8)	7453.5 (7617.4)	0.3
	<u>Longueur en unipodal droit YF</u>	166.3 (43.4)	187.9 (75.8)	0.5