

**Université de Nantes**  
**UFR STAPS**

Année universitaire 2012/2013

1<sup>ère</sup> session, 1<sup>er</sup> semestre

Année d'études : *Master 1 EPI*  
Enseignant(s) responsable(s) :  
*FOHANNO Vincent*

Durée de l'épreuve : *2 h 30*  
Documents autorisés : *non*

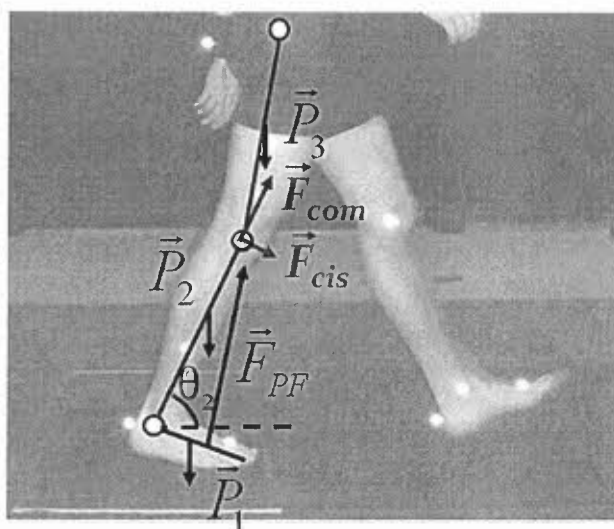
**UEF 2** : *Analyse des situations sportives : approche théorique*  
**EC 2.4** : *Analyse du mouvement et des situations sportives : nouvelles technologies*

**Vous répondrez aux questions sur trois copies différentes (une par intervenant).**

**Intervenant 1 : Vincent FOHANNO**

Q1 : Décrire de manière détaillée la procédure de dynamique inverse. (3 pts)

Q2 : Des forces de cisaillement trop importantes à l'articulation du genou représentent un risque de traumatisme élevé (déchirure ligamentaire, douleurs, usure prématurée des surfaces articulaires). Déterminer littéralement cette force, notée  $\vec{F}_{cis}$  dans l'exemple de marche ci-dessous, à partir des valeurs de force de la plate forme (PF). (5 pts)



Q3 : Quelle branche de la mécanique est utilisée en STAPS pour l'analyse biomécanique du mouvement ? (1 pt)

Q4 : Quels sont les principaux objectifs de l'analyse biomécanique en milieu clinique et sportif ? (2 pts)

Q5 : Quels sont les trois types de paramètre pouvant être utilisés pour une analyse biomécanique ? Donner deux exemples de paramètre pour chacun des trois types. (3 pts)

**Intervenant 2 : Fabien LEBOEUF**

Q1 : Comment obtenir les angles articulaires 3D avec un système d'analyse du mouvement passif ? (3 pts)

**Intervenant 3 : Floren COLLOUD**

Q1 : Montrer que la dynamique interne (couples actionneurs) générée par un sujet pour réaliser un mouvement est dépendante du type de matériel utilisé. Qu'est-ce que cela signifie en termes de coordination neuromusculaire ? (3 pts)

**Université de Nantes**  
**UFR STAPS**

Année universitaire 2012/2013

1<sup>ère</sup> session, 1<sup>er</sup> semestre

Année d'études : *Master 1 EPI*  
Enseignant(s) responsable(s) : *Jacques PRIOUX*  
et *Alexis LE FAUCHEUR*

Durée de l'épreuve : *2h*  
Documents autorisés : *Aucun*

**UEF 2 : Analyse des situations sportives -approches théoriques**  
**EC 2.6 : Adaptations physiologiques et pratique sportive**

Vous répondrez aux deux questions sur des copies séparées

**Question A. Le Faucheur (10 points).**

Présentez les principales adaptations vasculaires survenant à l'exercice (aigu et chronique) puis expliquez les mécanismes physiologiques sous-jacents à ces adaptations.

**Questions J. Prioux (10 points).**

1. Au cours d'un exercice maximal à charge croissante, quel est le modèle mathématique utilisé pour décrire la relation entre la consommation d'oxygène ( $\dot{V}O_2$ ) et la fréquence cardiaque (FC). L'application de ce modèle est-elle pertinente quelque soit l'intensité de l'exercice considéré ?
2. Écrivez l'équation de Karvonen (1957) et définissez chacun des paramètres de cette équation. À quoi sert cette équation ?
3. Écrivez l'équation de Spiro (1977) et définissez chacun des paramètres de cette équation. À quoi sert cette équation ?
4. Écrivez l'équation utilisée pour calculer une dépense énergétique (à partir  $\dot{V}O_2$  de et du coefficient thermique moyen de l'oxygène) et définissez chacun des paramètres de cette équation ainsi que les unités associées à ces paramètres.
5. Un sujet âgé de 20 ans, avec une FC de repos de 60 bpm réalise un footing d'une heure à une FC moyenne de 170 bpm.  $\dot{V}O_{2max}$  Sa est de 4 l.min<sup>-1</sup>. Quelle est la dépense énergétique occasionnée par ce footing ? Vous utiliserez l'équation de Spiro pour estimer la FC<sub>max</sub> du sujet.

**Université de Nantes**  
**UFR STAPS**

Année universitaire 2012/2013

1<sup>ère</sup> session, 1<sup>er</sup> semestre

Année d'études : Master STAPS spécialité  
EPI 1<sup>ère</sup> année  
Enseignant responsable : Jacques SAURY et  
Antoine NORDEZ

Durée de l'épreuve : 2H00  
Documents autorisés : *aucun*

**UEF 1 : Tronc commun - Sport Santé Société**  
**EC 1.3 – Méthodologie**

Vous répondrez aux deux questions sur **deux copies différentes**.

**Question 1 (10 points) (cours de Jacques Saury)**

Dans la littérature scientifique, on peut observer la coexistence de théories concurrentes – et fondées sur les présupposés inconciliables – visant à expliquer certains phénomènes liés à l'activité humaine, comme par exemple la cognition, le contrôle moteur, ou l'apprentissage.

Expliquez comment cela est possible dans une période donnée, et pourquoi l'une des théories concurrente ne parvient pas à s'imposer comme supérieure aux autres au sein de la communauté scientifique.

Illustrez votre réponse à l'aide d'exemples choisis dans les recherches en STAPS.

**Question 2 (10 points) (cours d'Antoine Nordez)**

Sur la base des critères abordés en cours, expertisez l'article suivant qui a été modifié par rapport à la version publiée dans Science et Sport (2012). Pour cela, listez les problèmes majeurs et mineurs que vous rencontrez.

*Pour gagner du temps, vous pouvez annoter le texte en numérotant ces annotations et en y faisant référence dans votre copie. Dans ce cas, pensez à placer l'article à l'intérieur de votre copie et y inscrire votre numéro d'étudiant.*

*La revue qui a publié la version originale de cet article demande un formatage de la bibliographie avec une numérotation des références par ordre d'apparition dans le texte.*

# L'entraînement proprioceptif améliore l'équilibre des véliplanchistes olympiques

R. Linares, J.-P. Micallef, L. Marin

## Résumé

**Objectif.** Évaluer les effets d'une préparation physique proprioceptive sur l'équilibre statique et dynamique du véliplanchiste.

**Matériels et méthodes.** Le protocole expérimental était composé de 11 sujets de haut niveau qui ont été partagés en deux groupes (GP = 6 et GT = 5), un groupe proprioception (GP) effectuant une préparation physique proprioceptive sur surface instable et un groupe témoin (GT) conservant une préparation physique « classique ». La période d'expérimentation a duré six semaines et l'équilibre a été évalué de deux façons en pré- et post-entraînement : équilibre statique à l'aide d'une plateforme de force et équilibre dynamique à l'aide d'un accéléromètre.

**Résultats.** À l'issue du protocole, seul GP a amélioré significativement son équilibre statique en appui unipodal et son équilibre dynamique. Il en ressort qu'un entraînement proprioceptif décontextualisé améliore significativement la perception de l'équilibre en planche à voile olympique. Ces résultats suggèrent la prise en compte de l'importance de développer les habiletés perceptives dans une pratique telle que la voile.

**Mots clés.** Équilibre statique, Équilibre dynamique, Proprioception, Planche à voile, Préparation physique

## 1. Introduction

La planche à voile olympique fait partie de ces activités de plein air à forte dominante perceptive où la prise d'informations tel que le vent, le plan d'eau ou encore les déplacements des concurrents sont déterminants pour la performance. Le véliplanchiste propulse son embarcation grâce à la force du vent dans sa voile et à la flottaison de sa planche sur l'eau. Les contraintes appliquées par le milieu instable du flotteur nécessitent une recherche permanente d'équilibre ainsi qu'un engagement physique important des membres supérieurs (MS), des membres inférieurs (MI) et de la sangle abdominale [1]. La navigation en planche à voile dépend des conditions météorologiques. Selon la force du vent, le véliplanchiste adopte une technique différente. Ainsi, par vent faible, le pratiquant utilise une méthode dynamique de « pumping » (moyen de propulsion qui combine une action d'extension des jambes sur le flotteur et de traction des bras sur la voile), alors que par vent fort, il adopte une posture statique en opposition à sa voile.

La spécificité du support impose à tous les pratiquants des contraintes posturales importantes. Pauly (1995) définit la posture comme « une activité musculaire tonique de soutien, dont la contraction permanente permet la lutte antigravitaire (tonus postural) » [2]. En planche à voile, elle a aussi un impact dans la propulsion de l'embarcation. En effet, elle sert également à réaliser les mouvements volontaires du pratiquant afin d'améliorer sa position pour une meilleure performance [3].

La posture du planchiste est soumise à rudes épreuves, plusieurs études en témoignent. D'après Loquet (1984), les masses sacrolombaires semblent avoir un rôle très spécifique en planche à voile. Leur activité est élevée et atteint 75 à 81 % de la contraction maximale volontaire selon l'allure de navigation concernée dans le vent fort. Au niveau du tronc, les résultats obtenus sur l'activité du grand dorsal sont controversés. Mais il apparaît clairement que par vent fort, son activité devient asymétrique, conditionnée par son rôle fonctionnel [4]. D'une manière générale, l'ensemble des résultats montre une activité conséquente des extenseurs du rachis et des muscles de la sangle abdominale. D'autant plus que cette dernière joue un rôle essentiel dans la transmission des chaînes musculaires entre MI et MS qui sont hautement sollicités, en particulier lors des mouvements de « pumping ». Ce tonus de posture assure donc l'équilibre du véliplanchiste, tant en position immobile qu'en mouvement.

Gheluwe et al. (1988) insistent sur le fait qu'en planche à voile, l'équilibre est le paramètre significatif qui pose généralement le plus de problème à tout pratiquant, et cela quel que soit le niveau d'expertise [5]. Cette pratique est considérée comme une activité sportive où l'habileté perceptive déterminante est l'augmentation de la perception de l'équilibre [6]. Selon Winter, la notion d'équilibre « désigne la dynamique de la posture corporelle dans la prévention des chutes. Elle est relative à l'action des forces inertielles sur le corps et aux caractéristiques inertielles des segments corporels » [7]. L'équilibre dépend donc de la nature de la perturbation appliquée et des réactions qui en résultent. Dans le cas de la planche à voile, les pratiquants rencontrent deux perturbations principales : l'instabilité du flotteur au niveau des MI et la force du vent dans la voile au niveau des MS. La stabilité du planchiste relève de la capacité à développer les forces nécessaires pour s'opposer à ces perturbations.

Gantier (1995) parle de « système d'équilibration » qui fonctionne grâce aux informations issues des différents capteurs sensoriels qui vont ensuite être transmises et traitées par un système de régulation central, afin de fournir la réponse adaptée permettant de conserver l'équilibre sur la planche [8]. Gantier (1995) définit ici les liens étroits qui existent entre le maintien de l'équilibre et la proprioception. Autrement dit, nous préconisons comme cet auteur qu'une amélioration de la sensibilité proprioceptive spécifique au système d'équilibration affinerait les réponses posturales nécessaires à une amélioration de la pratique de la planche à voile. En effet, la proprioception fournit des informations sur la position des différents segments du corps les uns par rapport aux autres et surtout leurs variations. La proprioception renseigne donc sur la position et le mouvement de chaque partie du corps, l'orientation, la vitesse, les accélérations ainsi que sur la force développée lors des contractions musculaires (MS avec la voile et MI avec le flotteur) [6]. L'ensemble de ces informations est primordial pour réaliser la majorité des pratiques sportives telles que la voile. Certains chercheurs, comme Berthoz (1997) ou Marin (1997), considèrent la proprioception comme notre sixième sens. On l'appellerait le sens du mouvement. S'il est oublié des cinq sens habituels, c'est peut être parce qu'il est inconscient ou parce qu'il fait référence à une multitude de récepteurs différents. Quelle que soit l'explication de cet oubli, il est temps de le corriger et ce d'autant plus pour la pratique sportive de la voile. Outre la vision, la proprioception est le « sens » le plus utilisé dans les activités physiques [6] and [9]. Différents capteurs constituent ce sixième sens : les fuseaux neuromusculaires informent de la variation de longueur du muscle ; les afférences tendineuses informent sur la tension développée dans le muscle ; les afférences articulaires informent sur l'angle d'ouverture des articulations ; les récepteurs vestibulaires perçoivent les accélérations de la tête et du corps ; les récepteurs cutanés renseignent sur les variations de pression subies par la peau ; et les afférences dues à la vision périphérique quant à elles renseignent sur la vitesse relative du mouvement du paysage par rapport à nos déplacements (ce qui, par exemple, nous renseigne directement sur la direction de nos déplacements) [10].

En planche à voile, ces capteurs proprioceptifs indiquent l'orientation des diverses pièces osseuses les unes par rapport aux autres ainsi que la tension des différents muscles lors du « pumping », par exemple. Au niveau du pied, ces capteurs interviennent dans toutes les situations en station verticale sur la planche, qu'elles soient statiques ou dynamiques. Bien que moins connu, la peau de la voûte plantaire joue un rôle perceptif important dans l'équilibration [8]. La proprioception du pied dans sa globalité est environ quatre fois plus élevée que celle de la jambe. Ainsi, en transmettant la force de réaction de la planche à l'organisme, le pied s'ajuste avec précision aux nécessités de la posture [8].

Toutes ces étapes complexes font de la proprioception une habileté perceptive délicate à explorer. Mais, encore aujourd'hui, aucune étude concernant la planche à voile ne s'est intéressée à cette habileté pourtant indispensable à la pratique. Toutefois on sait qu'il est possible d'améliorer la sensibilité proprioceptive. En effet, des travaux de recherche ont pu mettre en évidence que la proprioception peut être améliorée par la pratique sportive [11,12,13]. Ces travaux montrent que l'activité physique permet de développer la force musculaire, de stimuler les différents capteurs impliqués dans le contrôle de l'équilibre et également de développer de nouvelles stratégies d'équilibration.

Ainsi, au regard de l'ensemble de ces preuves expérimentales, il apparaît que la proprioception est déterminante pour améliorer l'équilibre et la posture du corps. Or, l'équilibre est un déterminant de la performance en planche à voile. Par conséquent, il semble primordial d'inclure dans le programme de préparation physique des planchistes olympiques de haut niveau des exercices proprioceptifs.

Dans un tel contexte, le premier objectif de cette étude est de mesurer l'impact d'un entraînement proprioceptif sur l'équilibre en planche à voile olympique.

## 2. Méthode et matériel

### 2.1. Les sujets

Cette étude a été menée sur 11 véliplanchistes masculins de haut niveau qui ont une taille comprise entre 159 et 183 cm et un poids compris entre 59 et 71 kg. Ces participants ont été partagés en deux groupes ( $n_1 = 6$  et  $n_2 = 5$ ) de façon aléatoire. Le groupe proprioception (GP) était composé de six véliplanchistes suivant une préparation physique « proprioceptive » durant toute la durée du protocole d'entraînement. Le groupe témoin était (GT) composé de cinq véliplanchistes suivant une préparation physique « classique » en planche à voile. On entend par préparation physique « classique » un entraînement qui est habituellement utilisé par la majorité des préparateurs physiques et qui vise à doter l'athlète d'un potentiel physique (qualités générales) nécessaire à la production de sa meilleure performance en planche à voile sans exercices proprioceptifs [14]. Les deux groupes ont eu la même quantité de travail (QT).

## 2.2. Le matériel d'évaluation

L'équilibre statique ainsi que l'équilibre dynamique ont été évalués chez tous les participants. Pour cela, différents matériels d'évaluation ont été utilisés : une plateforme de force et un accéléromètre.

*Équilibre statique : plateforme de force*

L'équilibre statique a été mesuré sur la plateforme de force. De nombreuses études scientifiques ont déjà utilisé et validé ce matériel [15] and [16]. Ce plateau fonctionne avec une digitalisation sur 16 bits et des enregistrements à 40 Hz. À partir de la mesure des trois forces verticales mesurées par des capteurs dynamométriques disposés au sommet d'un triangle équilatéral de 40 cm de côté, les coordonnées du centre de pression et leurs variations dans le temps sont calculées.

Trois conditions expérimentales ont été imposées aux participants : situation unipodale yeux ouverts (jambe droite et jambe gauche) et situation bipodale yeux fermés. Par essence, ces sportifs de haut niveau étaient très stables posturalement, nous n'avons pas mesuré la situation habituelle, bipodale yeux ouverts (non discriminante quels que soient les groupes de sujets) [17]. La condition bipodale yeux fermés est considérée dans ce travail comme notre condition contrôle. En situation yeux ouverts unipodale, le sujet porte son regard sur une cible disposée à hauteur des yeux communément placée entre 90 cm et 2 m, ce qui correspond à la distance du repos oculaire. À partir de l'évolution du centre de pression recueillis lors des essais, on évalue l'équilibre statique du sujet en calculant sur le stabilo-gramme obtenu :

- la surface (en  $\text{mm}^2$ ) ;
- l'écart-type de la moyenne des déplacements antéropostérieurs et latéraux (mm) ;
- la vitesse moyenne de déplacement (mm/s).

*Équilibre dynamique : accéléromètre*

Outre l'utilisation de la plateforme de force classiquement utilisée pour mesurer l'équilibre statique, nous avons voulu évaluer l'équilibre dynamique des participants dans une situation proche de celle réalisée lors de la pratique de la planche à voile. Le matériel d'évaluation de cet équilibre dynamique est un accéléromètre triaxial. Ce capteur, fixé sur un mobile, mesure l'accélération de ce dernier dans trois directions différentes. Dans le champ de la gravité terrestre, il donne la composante de la verticale selon son axe d'inclinaison. Dans notre cas, l'accéléromètre est positionné dans le dos du sujet, nous n'exploiterons que les inclinaisons selon les axes antéropostérieur (flexion antérieure-postérieure et flexion latérale droite gauche).

L'évaluation de l'équilibre dynamique des véliplanchistes se voulait proche des contraintes rencontrées pendant l'activité : surface instable au niveau des MI (instabilité du flotteur sur l'eau) et activité dynamique au niveau des MS (pumping avec la voile). Un matériel spécifique a donc été développé, permettant d'évaluer indirectement la stabilité des sujets qui est un facteur de la performance en planche à voile. Ce dispositif se composait :

- d'un plateau demi-cylindrique placé sous les pieds afin d'exposer le sujet à un déséquilibre sur l'axe antéropostérieur proche des contraintes rencontrées au niveau des MI lors de la pratique de la planche à voile ;
- d'une poulie de tirage simulant l'action de pumping du véliplanchiste. Cette poulie est installée face au sujet pour mettre en action ses bras. La force appliquée à la poulie correspond à une charge de 15 kg, soit la force d'un vent modéré quand le pumping est nécessaire dans l'activité planche à voile (d'après Leszczynski [18]).

L'amplitude du mouvement a été standardisée : chaque sujet devait effectuer le mouvement avec une flexion et une extension du coude complète. Afin d'être le plus écologique possible, chaque sujet a gardé sa fréquence de pumping préférentielle. Nous avons vérifié que les sujets gardaient la même fréquence entre le pré- et post-test afin que les tests soient comparables.

*Validation du test*

Ce test, n'étant pas classiquement utilisé, nous avons effectué un pré-test afin de vérifier la reproductibilité de celui-ci. La validation du test a été effectuée par un sujet confirmé pratiquant la planche à voile en loisir (*funboard*). Il n'a pas navigué ni suivi d'entraînement physique spécifique entre le test et le re-test. La reproductibilité a été confirmée d'après le test de Friedman. Aucune différence significative entre le test (moyenne de l'écart-type = 1,4805) et le re-test (moyenne de l'écart-type = 1,4599) n'a été observée ( $p = 0,2482$ ).

## 2.3. L'analyse statistique

Après avoir vérifié l'homogénéité et la normalité des valeurs moyennes pour chaque groupe, l'effet de l'entraînement a été testé avec une analyse de variance à deux facteurs (2 way RM Anova) (groupes [GP, GT] × mesures [pré-entraînement, post-entraînement]) à mesures répétées sur le second facteur (niveau de significativité fixé à 5 %,  $p < 0,05$ ).

## 2.4. Procédure d'entraînement

Le protocole d'entraînement a duré six semaines. D'après les expériences en T'ai Chi Chuan, quatre semaines d'entraînement intensif suffisent pour observer une augmentation de la stabilité posturale et de l'équilibre. Le choix du protocole s'est porté sur six semaines car l'intervention proprioceptive hebdomadaire était moindre que celle des sujets de l'expérience de Tsang et Hui-Chan [19].

La première semaine d'entraînement a commencé alors que les sportifs étaient en phase de préparation physique auxiliaire (PPA). C'est une période pendant laquelle les athlètes sont en phase de développement de leurs points forts (l'équilibre dans notre cas). Le protocole s'est ensuite poursuivi en phase de pré-compétition, appelée aussi période de préparation physique spécifique (PPS). Les deux groupes de véliplanchistes ont été évalués à deux reprises : l'une en pré-entraînement et l'autre en post-entraînement (Schéma 1). Durant tout le protocole, GP [20, 21, 22, 23] et GT ont eu la même charge d'entraînement hebdomadaire ( $QT \approx 9,6$  h/sem) (Schéma 1).

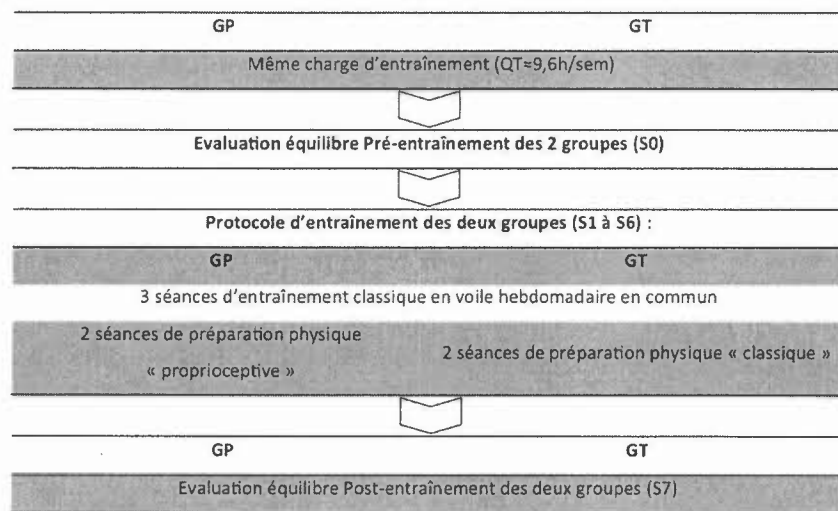


Schéma 1. Le protocole expérimental de S0 à S7. GP : groupe proprioception ; GT : groupe témoin ; QT : quantité de travail ; S0 : semaine 0 ; S1 : semaine 1 ; S6 : semaine 6 ; S7 : semaine 7.

## 3. Résultats

### 3.1. Situation bipodale yeux fermés

À propos des résultats en situation bipodale yeux fermés aucune différence significative n'a été constatée, et ce quels que soient les groupes de pratique (GP et GT). Les Anovas sur les déplacements de l'axe antéropostérieur et médiolatéral ainsi que sur la surface de déplacement et la vitesse moyenne du déplacement du centre de pression n'ont montré aucune différence significative entre les pré- et post-tests.

### 3.2. Situation unipodale

Le groupe GP a diminué significativement ses oscillations posturales selon l'axe antéropostérieur de près de 30 % (d'après le test 2 way RM Anova :  $F_{(1-10)} = 5,81$  ;  $p < 0,05$ ) et selon l'axe médiolatéral de près de 20 % ( $F_{(1-10)} = 5,92$  ;  $p < 0,05$ ) entre pré- et post-entraînement. GT, lui, n'a connu aucune évolution significative. Concernant la surface du centre de pression, elle a connu chez le groupe GP, une diminution significative d'environ 17 % ( $F_{(1-10)} = 5,38$  ;  $p < 0,05$ ) alors que chez GT, aucune modification n'est constatée.

Enfin, on observe une diminution significative de la vitesse moyenne de déplacement du centre de pression de près de 18 % chez GP ( $F_{(1-10)} = 5,42$  ;  $p < 0,05$ ) sans observer encore une fois de modification de la vitesse moyenne du groupe GT. L'ensemble de ces résultats indique que le groupe GP a réduit ses oscillations posturales tout en réagissant rapidement à toute perturbation.



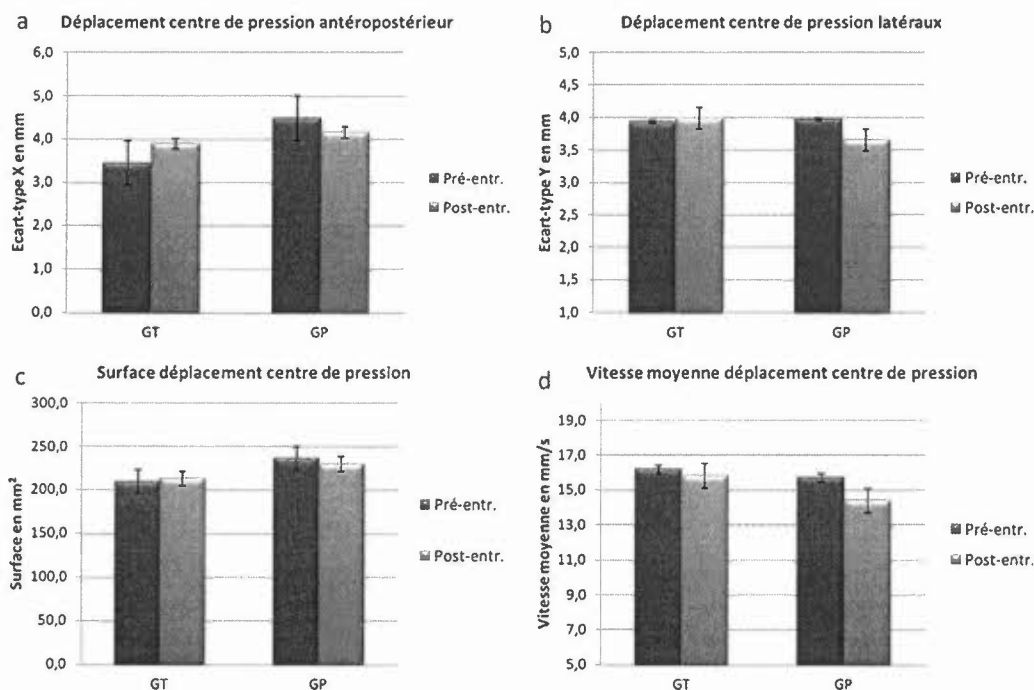


Figure 1. Valeurs du centre de pression sur axes antéropostérieur (a), axe latéral (b), surface de déplacement (c) et vitesse moyenne du centre de pression (d) en situation bipodale. Les valeurs représentent les moyennes, \* $p < 0,05$  pour différence significative pré- et post-entraînement. GT : groupe témoin ; GP : groupe proprioception ; pré-entr. : pré-entraînement ; post-entr. : post-entraînement.

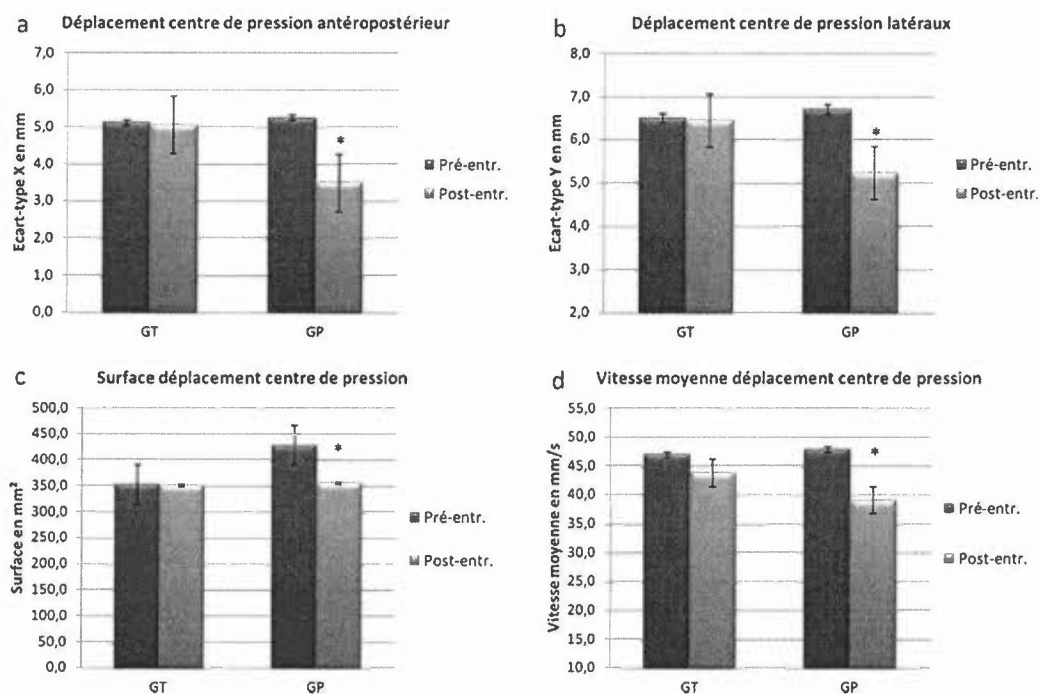


Figure 2. Valeurs du centre de pression sur axes antéropostérieur (a), axe latéral (b), surface de déplacement (c) et vitesse moyenne du centre de pression (d) en situation unipodal.

### 3.3. Situation sur plateau instable avec activité dynamique des membres supérieurs

La Fig. 3 représente un exemple de courbe d'un sujet typique obtenu à l'aide des variations de tension enregistrées par l'accéléromètre (Fig. 4).

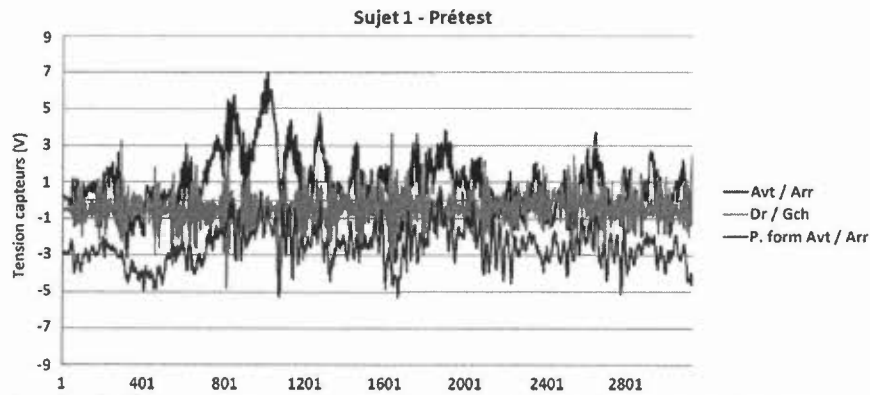


Figure 3. Exemple de relevés de tensions captées par l'accéléromètre pour un sujet typique.

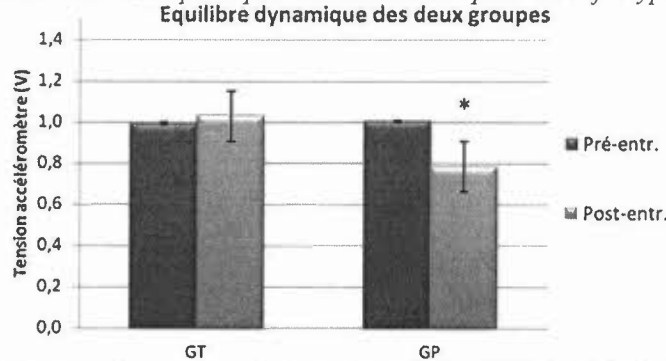


Figure 4. Tension du capteur accéléromètre lors de l'évaluation en situation dynamique. Les valeurs représentent les moyennes, \* $p < 0,05$  pour différence significative pré- et post-entraînement. V : volt ; GT : groupe témoin ; GP : groupe proprioception ; pré-entr. : pré-entraînement ; post-entr. : post-entraînement.

## 4. Discussion

### 4.1. Situation bipodale yeux fermés

En situation bipodale yeux fermés, aucun résultat significatif n'a été obtenu pour l'ensemble des participants des deux groupes. Ce résultat confirme l'étude de Vuillerme et al. [17] qui montrent que des sportifs de haut niveau en gymnastique possèdent préalablement, comme les véliplanchistes dans notre étude, une habileté perceptive de l'équilibre fortement développée. De ce fait, en appui bipodale même les yeux fermés, il est difficile d'observer une amélioration significative (« effet plancher »). Il semblerait que cette situation bipodale les yeux fermés ne soit pas assez contraignante pour mettre à nu une différence entre ces deux groupes. Un cycle d'entraînement de six semaines est donc insuffisant pour améliorer l'équilibre bipodal chez des athlètes de ce niveau.

### 4.2. Situation unipodale

À propos de la situation unipodale, les mesures de GP, effectuées sur la plateforme de force, montrent une stabilité posturale améliorée. Le protocole d'entraînement a donc permis d'augmenter l'équilibre des sujets et notamment l'équilibre unipodal. En effet, nous avons observé une diminution significative des oscillations sur les axes antéropostérieur et médiolatéral, une diminution de la surface et de la vitesse moyenne des déplacements du centre de pression dans les situations unipodales jambe droite et jambe gauche. Nous pensons que le travail spécifique qui a été mené lors des séances d'entraînement proprioceptif a développé certaines sensibilité perceptive notamment au niveau de la cheville – articulation la plus sollicitée dans l'équilibre des véliplanchistes. Nous pensons qu'une telle amélioration chez des sujets déjà très stable « posturalement » a pu être possible par la mise en place d'exercices très contraignants mettant en jeu un membre inférieur (MI) sur deux : exercices à une jambe sur trampoline, squats sur une jambe ou encore différents exercices sur Huber® qui contraignaient les sujets à développer de nouvelles méthodes d'équilibration. Ces améliorations semblent indiquer que ces exercices ont fortement stimulé le système proprioceptif provoquant une sensibilisation plus accrue des fuseaux neuromusculaires et du système ligamento-articulaire de la cheville [24]. On pourrait également retrouver ces effets bénéfiques au niveau de l'articulation du genou, mais nous pensons que les principales répercussions se situent au niveau de la cheville. En effet, la plupart des exercices semblent solliciter la cheville plus que le genou puisque les régulations s'observent plus au niveau de la cheville qu'au niveau du genou. Cependant, il est possible que l'articulation du genou des véliplanchistes soit suffisamment développée, contrairement à celle de la cheville. Dans

un tel contexte, l'entraînement aurait développé l'articulation la plus faible. Toutefois, nous pensons que cette hypothèse du genou est la moins plausible puisque certaines études ont montré que les chevilles des véliplanchistes sont les plus sollicitées. Les travaux de Blouin et Bergeron [24] préconisent essentiellement des exercices proprioceptifs sur la cheville lors d'une rééducation des MI afin de reprogrammer les schémas locomoteurs des patients véliplanchistes, indiquant que l'articulation de la cheville est souvent l'articulation la plus sollicitée dans le maintien de l'équilibre instable comme cela a été le cas dans nos exercices.

Le groupe témoin (GT), lui, a suivi une préparation physique classique et n'a pas bénéficié d'exercices affectant autant cette sensibilisation au niveau des MI. Leur perception de l'équilibre est seulement entretenue par les séances d'entraînement en planche voile, qui rappelons-le, activent les sensations d'équilibre. En effet, on n'observe pas d'amélioration significative de l'équilibre unipodal, mais seulement une conservation de ses caractéristiques. On peut émettre l'hypothèse que la pratique de la planche à voile olympique à haut niveau, sans préparation physique proprioceptive spécifique, ne dégrade pas l'équilibre des sportifs. Dans ce cas là, on parle « d'entretien » de l'équilibre. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Riva [25] qui parle de régression fonctionnelle du contrôle postural chez les athlètes de haut niveau. Selon lui, un facteur critique existe pour atteindre et maintenir des performances de haut niveau : c'est la tolérance au stress mécanique des structures passives les plus sollicitées (tendons, articulations et cartilages). Ainsi, la stabilité fonctionnelle des articulations intéressées que l'athlète utilise perturberait suffisamment l'appui unipodal [26].

### 4.3. L'équilibre en situation dynamique

Enfin, concernant l'équilibre en situation dynamique, on observe une amélioration significative des résultats obtenus chez le groupe GP. Ils montrent qu'une préparation physique proprioceptive sur une période de six semaines suffit à développer l'habileté perceptive de l'équilibre en situation dynamique. La posture de l'athlète est plus stable malgré une activité motrice des MS (le *pumping* avec la voile) et des perturbations sur l'équilibre au niveau des MI (instabilité du flotteur).

Cela semblerait être la conséquence des exercices proprioceptifs décontextualisés : tirage sur lentille d'équilibre, haltères sur ballon suisse, séances sur Huber<sup>®</sup>. En effet, ces exercices sollicitent fortement le système « équilibratoire » par le jeu de perturbations constantes et irrégulières. Le sportif se retrouve contraint de travailler avec ses bras, tout en ajustant son équilibre avec les MI. Dans ce contexte, la proprioception est développée, c'est ce qui explique l'amélioration de l'équilibre en situation dynamique. Effectivement, on peut supposer que la préparation physique proprioceptive a stimulé la perception sensorielle de l'équilibre chez les véliplanchistes. Par exemple, les exercices sur Huber<sup>®</sup> consistaient à réaliser des gestes et des postures si fines et si précises que pour parvenir à un certain degré d'expertise, il était nécessaire de faire évoluer son système kinesthésique au-delà du niveau de perception commun. C'est à ce prix que les différents capteurs proprioceptifs fortement stimulés vont permettre une réelle adaptation du système postural. Cette adaptation est à l'origine de nouvelles stratégies posturales qui vont conduire le sujet à améliorer sa statique générale et à trouver des positions plus efficaces, d'une part, et de réagir plus rapidement à un déséquilibre, d'autre part.

Une autre explication de l'amélioration de l'équilibre dynamique résiderait dans le renforcement des muscles profonds qui fortifient la colonne vertébrale (érecteur du rachis) et des muscles qui participent au maintien de la posture [20]. Par exemple, la paroi abdominale, de par sa position centrale, participe à la transmission des chaînes musculaires entre les MS et les MI [27]. Ainsi, le tronc, bien fixé par les muscles posturaux, devient un point d'appui plus solide pour l'activité dynamique des bras malgré les troubles d'équilibre des MI.

Quelle que soit la raison, le véliplanchiste minimise ses oscillations ce qui le rend plus stable posturalement pour effectuer ses mouvements de *pumping* sans être confronté à des problèmes de déséquilibre qui peuvent être source d'une moindre efficacité gestuelle.

D'une manière générale, cette étude montre que la préparation physique chez les véliplanchistes olympiques de haut niveau doit intégrer la préparation physique proprioceptive. Celle-ci fortifie les muscles posturaux tout en assurant une meilleure coordination. L'ensemble procure au véliplanchiste une plus grande stabilité posturale. Selon Marin [6], l'amélioration des facteurs perceptifs proprioceptifs représente une importante progression dans la recherche de la plus haute performance sportive.

## 5. Conclusion

La finalité principale de l'étude était d'observer l'effet d'une préparation physique proprioceptive et ses répercussions sur l'équilibre postural statique et dynamique dans la pratique de la planche à voile olympique de haut niveau. L'autre intérêt de l'étude était de voir l'effet de la « décontextualisation » au cours d'une préparation physique.

Le protocole expérimental montre que deux séances hebdomadaires de préparation physique proprioceptive sur une durée de six semaines améliorent significativement l'équilibre statique unipodal et l'équilibre dynamique du GP. En revanche, on ne constate aucune amélioration de l'équilibre bipodal les yeux fermés. Le GT, qui suit une

préparation physique « classique » durant la même période, ne connaît aucune amélioration significative de son équilibre.

Cette étude met en avant l'importance que joue la perception de l'équilibre dans une activité telle que la planche à voile. Améliorer cette qualité, c'est améliorer l'un des déterminants de la performance de cette pratique. La mise en place d'exercices sur surface instable, avec des appuis unipodaux et des exercices décontextualisés ont permis d'adapter le système perceptif à de nouvelles stratégies d'équilibration.

## Références

- [1] Shephard RJ. The biology and medicine of sailing. 1990;2:86—99.
- [2] Pauly O. Le gainage qu'est ce que c'est ? In: Pauly O, editor. Gainage. Paris: Amphoras; 1995. p. 11—30.
- [3] Marin L, Bardy B, Bootsma R. Level of gymnastic skill as an intrinsic constraint on postural coordination. *J Sports Sci* 1999;17:615—26.
- [4] Loquet H. Étude électromyographique sur simulateur de la pratique de la planche à voile [thèse]. Lille: Université de Lille-II; 1983.
- [5] Gheluwe BV, Huybrechts P, Deporte E. Electromyographic evaluation of arm and torso muscles for different postures in windsurfing. 1988;4:156—65.
- [6] Marin L. La préparation physique perceptive. In: Le Gallais D, Millet G, editors. La préparation physique. Optimisation et limites de la performance sportive. Paris: Masson; 1997. p. 43—60.
- [7] Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF. Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. 1996;6(75):2334—43.
- [8] Gantier C. Les chutes chez le sujet âgé : étude épidémiologique et clinique. Proposition en vue d'une consultation des chuteurs [thèse]. Nantes: Université de Nantes; 1995.
- [9] Berthoz A.
- [10] Gibson JJ.
- [11] Jacobson BH, Ho-Cheng C, Cashel C, Guerrero L. The effect of T'ai Chi Chuan training on balance, kinesthetic sense, and strength. 1997;84(1):27—33.
- [12] Gorgy O. Ajustement postural réactionnel en déséquilibre médio latéral : effet de l'expertise des arts martiaux chinois. IXe Journées de recherches et de réflexions sur les sports de combats et les arts martiaux. Toulon: Jorrescam; 1998.
- [13] Forestier N, Bonnetblanc F. Compensation of lateralized fatigue due to referent static positional signals in an ankle- matching task. A feedforward mechanism. *Neurosci Lett* 1995;397(1 Suppl. 2):115—9.
- [14] Guevel A. Entraînement physique : programmation et planification. In: Saury J, Talon JF, editors. L'entraînement de haut niveau en voile. Paris: Edition FFV; 1997. p. 41—68.
- [15] Cornu JY, Ruault C. Intérêt de la baropodométrie dans la validation du choix de type de décharge chez le diabétologue. *J Plaies Cicat* 1999;67:24—31.
- [16] Lefebvre M, Millet J, Perrier A. Dynamique du centre de poussée avec ou sans coin calcanéen. *Rev Podologue* 1996;12:9—17.
- [17] Vuillerme N, Danion F, Marin L, Boyadjian A, Prieur JM, Weise I, et al. The effect of expertise in gymnastics on postural control. *Neurosci Lett* 1991;303:83—6.
- [18] Leszczynski B, Campillo P, Marthe C. Analyse de l'activité électromyographique des muscles de l'avant-bras et de l'équilibre en planche à voile. Congrès RFIS. Valenciennes; 1995.
- [22] Ferret JM. Amélioration de la coordination de la coordination chez des sportifs amateurs des sujets sédentaires et des seniors avec HUBER® . Lyon Gerland: LPG® ; 1995.
- [23] Quagliarini J. Effets d'un programme d'entraînement spécifique en proprioception sur l'équilibre chez le karatéka de haut niveau [mémoire]. Montpellier: Université Montpellier-I; 1996.
- [24] Blouin M, Bergeron C. Dictionnaire de la réadaptation. Québec: Les Publications du Québec; 1995.
- [25] Riva D. La régression fonctionnelle du contrôle postural chez les athlètes de haut niveau. *Sport Medicina* 1993;5:55—8.
- [26] Riva D. Visuo-proprioception HF, stabilité articulaire et adaptation muscle-tendineuse. Congrès international de kinésithérapie « Le muscle et le tendon ». Andrimont (Belgique); 1995.
- [27] Maton F. Le gainage abdominal du sportif : principe de la méthode de gainage abdominal « au ballon ». IRBMS Sport Santé. Lille: Print Forum; 1996.
- [28] Tsang WW, Hui-Chan CW. Effect of four and eight weeks intensive Tai Chi training on balance control in the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 1994;36(4):648—57.
- [29] Anderson K, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *J Appl Physiol* 1995;30(1): 33—45.
- [30] Perrot C, Deviterne D, Perrin PH. Influence of training on postural and motor control in a combative sport. *J Hum Mov Stud* 1998;35:119—36.