



institut français
du **cheval**
et de l'**équitation**



40^{ème} Journée de la Recherche Équine
Mardi 18 mars 2014

Interaction cavalier-cheval : Contribution des informations sensorielles et du niveau d'expertise

Par

A. Olivier¹, J. Jouvrey¹, C. Teulier¹, B. Isableu¹

¹ Université Paris-Sud – UFR STAPS – Laboratoire EA 4532 CIAMS – Rue Pierre de Coubertin – Bat 335 – 91 405 Orsay

Résumé

L'équitation est une discipline sportive impliquant deux systèmes multiarticulés complexes : le cavalier et le cheval. Les stratégies de coordination posturale dépendent de systèmes sensori-moteurs (vision, proprioception, audition) et évoluent selon le niveau d'expertise. L'objectif est d'identifier l'évolution des stratégies sensori-motrices mises en œuvre par le cavalier en fonction de son niveau d'expertise afin d'optimiser la synchronisation du contrôle de son équilibre avec le cheval. Le cavalier expert aurait une plus grande habileté à exploiter les informations proprioceptives et kinesthésiques que le cavalier débutant impliquant une meilleure coordination posturale chez l'expert. 14 cavaliers professionnels et 12 novices ont réalisé une tâche de contrôle postural sur un simulateur équestre dans différentes conditions de perturbations sensorielles. Les résultats de l'analyse montrent d'une part un effet du niveau d'expertise et d'autre part un effet de l'audition sur couplage cavalier-cheval.

Mots clés : Coordination posturale, informations sensorielles, expertise, cavalier

Summary

Horse-riding is a sport involving two complex articulated systems: the rider and the horse. Postural coordination strategies depend on sensorimotor systems (vision, proprioception, auditory) and evolve according to the level of expertise. The objective is to identify the evolution of sensorimotor strategies implemented by the rider depending level of expertise to optimize synchronization controlling his balance with the horse. Expert riders would have a greater ability to exploit the proprioceptive and auditory information than the novice rider in postural coordination. 14 expert riders and 12 novices realized postural control experimentation on riding equestrian simulator under different conditions of sensory disturbance. On the one hand, the results of the analysis showed an effect of the level of expertise, on the other hand a auditory rider coupling effect.

Key-words: postural coordination, sensory information, expertise, rider



1 Introduction

L'équitation est un modèle d'interaction homme-animal complexe et original dans la mesure où elle fait intervenir le cheval dans la performance. Dans cette discipline, l'optimisation du couplage cavalier-cheval est un facteur de réussite en compétition. Les systèmes sensoriels (auditif, visuel, proprioceptif) transmettent diverses informations sur l'environnement et contribuent au contrôle du mouvement et à l'orientation de la posture (Massion, 1997 ; Peterka, 2002 ; Ernst & Bühlhoff, 2004). L'optimisation de la coordination entre le cavalier et le cheval repose sur l'identification et la réduction des sources d'incertitudes dégradant significativement l'interaction des systèmes sensori-moteurs.

1.1 Informations sensorielles et contrôle postural selon l'expertise

La contribution des systèmes sensoriels (vision, audition, proprioception) dans le contrôle de la posture selon l'expertise a été largement étudiée, mais souvent de manière isolée et moins de manière combinée. Les travaux sur l'expertise en sport montrent que la contribution des informations sensorielles dans le contrôle postural ainsi que les stratégies multisegmentaires de régulation de l'équilibre et de contrôle de l'orientation du corps évoluent avec l'entraînement. Les études dans ce domaine montrent que le poids des contributions sensorielles diffère selon : la pratique ou non d'une activité sportive (Perrin *et al.*, 1998) ; le niveau de pratique (Perrot *et al.*, 1998) ; la discipline sportive pratiquée (Hosseinimehr *et al.*, 2009) ; la spécificité du geste, des appuis, de la tâche, du poste, de l'environnement dans une même famille sportive ou non (Stambolieva *et al.*, 2011). De manière générale, la contribution de la vision dans la régulation de l'équilibre postural diminue avec l'augmentation du niveau de pratique. Avec l'apprentissage, le poids des informations sensorielles évoluerait (Perrin *et al.*, 1998) en faveur des informations proprioceptives. Cette réorganisation sensorielle concorderait avec le développement de la représentation du corps dans l'espace (Vuillerme *et al.*, 2001b). Dans la discipline de l'équitation, Olivier (2012) a montré dans sa thèse intitulée « Contribution des informations visuelles dans le contrôle postural des cavaliers » que les informations proprioceptives et vestibulaires seraient prépondérantes dans la régulation de la stabilité posturale et plus particulièrement du segment céphalique (sur l'espace) chez les experts (Pozzo *et al.*, 1998) ce qui corrobore de manière générale les études sur l'expertise en sport.

Avec un paradigme expérimental différent s'inscrivant dans le cadre de l'approche dynamique, Sofianidis *et al.* (2012) ont étudié en l'absence de vision, l'effet de stimuli sensoriels auditif et tactile sur la synchronisation spontanée interpersonnelle de couple de danseurs experts et moins experts. Lors d'une tâche d'équilibration sur une balancelle rythmée mécaniquement, le contact tactile médié par le bout des doigts du partenaire paraît être un moyen important de synchronisation. L'importance des rétroactions tactiles par rapport aux informations auditives a également été confirmée lors d'une situation de marche côte à côte (Nessler & Gilliland, 2009). En plus d'être mieux couplé en phase avec le mouvement de la plateforme, les danseurs experts sont également capables de changer de mode de couplage et de devenir attracteur du mouvement (« leader »), plutôt que suiveurs (« follower »).

Les résultats de ces études montrent que l'entraînement sportif se traduit par une réorganisation plus spécifique de l'utilisation des informations sensorielles selon les caractéristiques de l'activité. Avec l'expertise, de manière générale, la contribution des informations visuelles diminue au profit des informations proprioceptives induisant des modes de couplages différents.

1.2 Influence de l'expertise des cavaliers sur le contrôle postural

Dans la discipline de l'équitation, la plupart des études se sont uniquement intéressées aux coordinations posturales des cavaliers selon l'expertise, en occultant l'influence des entrées sensorielles. Ces études montrent des différences de contrôle postural selon le niveau d'expertise (Galloux *et al.*, 1999 ; Lagarde *et al.*, 2005 ; Peham *et al.*, 2004 ; Terada, 2000). Les cavaliers experts coordonnent leurs segments corporels (tête, épaule, bassin, talon, etc) de manière plus synchrone avec leur monture que les moins experts (ces effets sont à relativiser selon les allures du cheval). Terada en 2000 a étudié les accélérations des déplacements de la tête ainsi que l'activité électromyographique des muscles du tronc et des adducteurs de la jambe (rectus abdominis, erector spinae, adductor magnus) de cavaliers experts et moins experts. Il montre des différences d'accélération des mouvements de la tête des cavaliers selon le niveau d'expertise et selon l'allure du cheval. Lors d'une expérience sur tapis roulant, Peham *et al.* (2004), montrent une interaction entre le cavalier expert et son cheval en modifiant l'équilibre du cheval. Ils s'interrogent aussi sur les modes de communication tactiles avec les rênes, la selle, les étriers. En effet, ils constituent au même titre que les appuis fessiers autant de sources de référentiation spatiale disponibles, redondantes ou spécifiant une partie de l'interaction cavalier-cheval (contrôle de l'orientation et de l'équilibre). Leur exploitation peut moduler



voire réorganiser dans le temps et dans l'espace le contrôle des coordinations posturale et intersegmentaire des cavaliers. Lagarde et al. (2005) mettent en lumière certains de ces facteurs. Ils analysent la coordination dynamique entre le cheval et le cavalier en comparant un cavalier novice et un cavalier expert. Leur étude exploratoire montre que le cavalier novice se désynchronise progressivement de sa monture au contraire de l'expert, toujours synchrone. Schöllhorn et al. 2006 a effectué une analyse en cluster à partir d'enregistrements cinématiques des mouvements du cavalier et du cheval au trot. Il montre un effet de l'expertise sur le contrôle de l'angle de la tête du cheval. Les cavaliers experts ont eu une action sur l'angle tête-encolure du cheval par l'intermédiaire des rênes contrairement aux moins experts. Plus récemment, Wolfram, Bosga et Meulenbroek (2013) étudient eux aussi à l'aide d'accéléromètres, l'interaction entre les accélérations du sternum de cavalières avec les accélérations du cheval au niveau de son estomac plus précisément au passage de sangle. Ils ne montrent pas d'effet de l'expertise sur les différents paramètres étudiés (moyenne et écart-type de phase relative). Toutefois, les auteurs montrent dans l'ensemble que les cavalières ont plus de facilité à coordonner et à synchroniser leurs mouvements avec celui du cheval au galop contrairement au pas et au trot. Les conclusions de ces travaux restent cependant évasives quant à la nature des déterminants biomécaniques et multi-sensoriels à l'origine du couplage optimal observé chez l'expert. In fine, les études recensées sur l'interaction cavalier-cheval montrent des différences dans la coordination posturale de cavaliers experts et moins experts. Un meilleur couplage cavalier-cheval est mesuré chez les plus experts. Cependant ces recherches se sont faites sur de faibles effectifs et dans des conditions expérimentales écologiques limitant la stricte comparaison du niveau d'expertise des cavaliers.

Si l'entraînement sportif permet une utilisation spécifique des informations sensorielles selon les caractéristiques de l'activité, quelles sont celles de la pratique de l'équitation ? L'objectif est d'identifier les modes de coordination sensori-motrice mis en œuvre par le cavalier en fonction de son niveau d'expertise afin d'optimiser l'interaction du couple cavalier-cheval. Nous nous attendons à ce que les cavaliers experts aient une plus grande habileté à exploiter les informations proprioceptives et auditives impliquant une meilleure coordination posturale chez l'expert par rapport à un débutant.

2 Matériel et méthode

Cette étude a été approuvée par un comité d'éthique local de l'Université Paris-Sud.

2.1 Participants et simulateurs

Les données de 26 sujets, répartis en 2 groupes selon leur niveau d'expertise, ont été recueillies. Les caractéristiques sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets étudiés
Table 1: Characteristic of subjects

	Effectif	Genre	Age	Nombre d'années de pratique	Nombre d'années de pratique en compétition	Nombre d'heures de pratique par jour
Cavaliers Professionnels	14	6 f. / 8 h.	29 ± 7.7	19.2 ± 6.2	7 ± 4.3	2.3 ± 1.2
Novices	12	6 f. / 6 h.	33.9 ± 13	0	0	0

Les cavaliers Professionnels sont des cavaliers de la Garde Républicaine et des cavaliers de compétition. Les Novices sont des sportifs recrutés au sein de l'UFR STAPS d'Orsay. Ils n'ont jamais obtenu de diplômes équestres. Les sujets ont été avertis de la procédure expérimentale et ont tous signé un consentement de participation.

2.2 Matériels

Dans cette étude nous avons utilisé un simulateur équestre (préparateur physique utilisé pour l'entraînement postural d'élèves en formation). Ce système permet de reproduire, dans une posture proche de la pratique, les mêmes conditions expérimentales pour tous les sujets. La fréquence de mouvement du simulateur est de 1,16 Hz, soit 70 mouvements/minute. Cette vitesse de mouvement est proche de l'allure du galop. L'utilisation d'un simulateur permet donc de mieux appréhender les modifications du couplage cavalier-cheval en fonction du niveau du cavalier et d'altérer certaines entrées sensorielles des cavaliers en sécurité.



Les enregistrements posturaux ont été réalisés en 3 dimensions au moyen de caméras optoélectroniques « Optitrack » (fréquence 250 Hz). Les participants étaient équipés de 34 marqueurs rétro-réfléchissants sur différents segments : la tête, le tronc (C7, T10), le bassin, le membre supérieur (épaule, coude, main) et le membre inférieur (genou, malléole, talon) (Cf Lagarde et al. 2005). Ainsi la position de tous les marqueurs a été recueillie dans les 3 axes de déplacements (antéro-postérieur ; médio-latéral; vertical).

2.3 Procédure expérimentale

Dans un premier temps, les sujets ont été installés sur le simulateur. La hauteur des étriers a été réglée pour chacun à la hauteur de leur malléole une fois la jambe dépliée. Une position assise dans la selle de référence était alors adoptée pour tous avant le début des enregistrements.

Ensuite, une phase d'habituatation au simulateur (moins de 10 secondes soit 10 cycles) est effectuée par tous afin de limiter les effets de surprise du mouvement du simulateur.

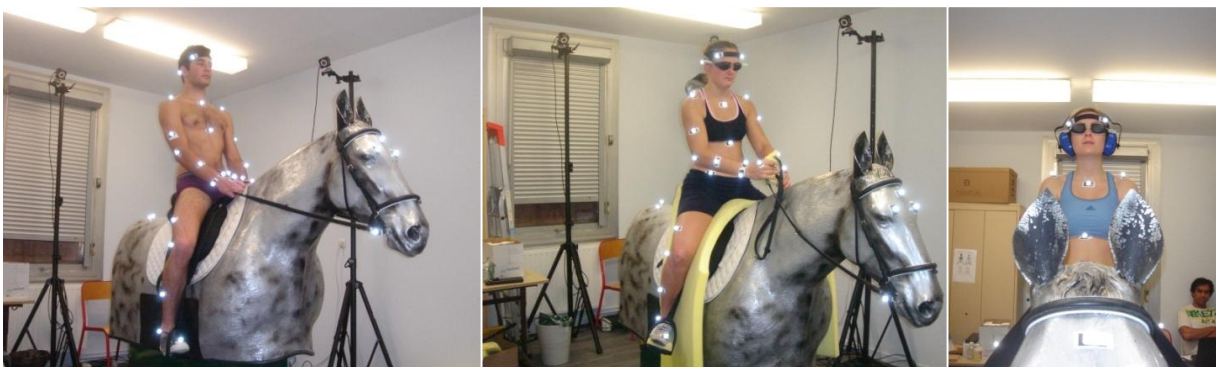
Dans un deuxième temps, les participants ont reçu la consigne de se stabiliser à partir de leur position à cheval sur le simulateur en mouvement et de regarder devant eux sans tourner la tête lors des enregistrements.

Enfin, dans un troisième temps 8 essais de 50 secondes ont été enregistrés de manière aléatoire dans les différentes conditions de perturbations sensorielles (visuelles, auditives et proprioceptives) sur le simulateur (Figure I) :

- *Yeux Ouverts Normal* : aucun sens n'est perturbé, c'est notre condition de référence.
- *Yeux Fermés Normal* : le cavalier porte des lunettes opaques lui occultant la vision.
- *Yeux Ouverts Mousse* : la sensibilité proprioceptive est altérée par l'ajout d'une mousse sur tous les points de contact (les rênes pour les mains, la selle et le corps du cheval pour la face interne des jambes et les appuis du bassin dans la selle, et l'étrier pour l'appui plantaire).
- *Yeux Fermés Mousse* : la vision est occultée et la proprioception est altérée.
- *Yeux Ouverts sans Bruit* : les cavaliers ont uniquement les informations auditives d'occultées par l'ajout de boules quies et d'un casque antibruit.
- *Yeux Fermés sans Bruit* : la vision et l'audition sont occultées.
- *Yeux Ouverts Mousse sans Bruit* : l'audition est occultée et la proprioception altérée.
- *Yeux Fermés Mousse sans Bruit* : les trois entrées sensorielles sont perturbées, la vision et l'audition sont occultées et la proprioception est altérée. Cette condition est la plus contraignante sur le plan sensoriel puisqu'elle isole de l'environnement extérieur.

Figure I : Exemple de sujets dans 3 conditions expérimentales (YON, YFM, YFB)

Figure I: Example of subjects in 3 experimental conditions (YON, YFM, YFB)



YON - Yeux Ouverts, Normal

YFM - Yeux Fermés, Mousse

YFB - Yeux Fermés,
sans Bruit

2.4 Analyse des données

Les données enregistrées de chaque marqueur ont été filtrées au moyen d'un filtre Butterworth passe-bas d'une fréquence de coupure de 12 Hz. Le traitement des données a été réalisé sous Matlab. L'analyse en Phase Relative (PR) discrète de la position des marqueurs du cavalier (Temps de la position maximale d'un point du cavalier) par rapport à l'axe vertical (z) des mouvements de la croupe du simulateur équestre



(Temps de la position maximale d'un point du simulateur) a été effectuée sur les différents points anatomiques : la tête, le tronc (C7, T10), le bassin, le membre supérieur (épaule, coude, le poignet) et le membre inférieur (genou, malléole, talon). La formule utilisée pour le calcul de la phase relative (PR) discrète est :

$$PR = \frac{T_{\max(\text{segment})} - T_{\max(\text{simulateur})}}{\text{Temps d'un cycle}}$$

Une phase relative à 0° indique une parfaite synchronisation entre les mouvements du cavalier et du cheval. La coordination est dite « *en phase* ». Une phase relative négative (-0°) informe une anticipation (« *anticipation de phase* ») et à l'inverse une phase relative positive (+0°) montre un retard (« *décalage de phase* ») entre deux systèmes. Nous avons calculé les moyennes des PR dans les 8 conditions sensorielles de passation. A l'issue de ces traitements nous avons effectué un test d'homogénéité des données (test de Levene) puis une analyse de variance (ANOVA à mesures répétées) à 4 facteurs : Expertise × 2 (Cavaliers Professionnels *vs* Novices), Segments × 10 (Tête, épaule, bassin ...), Audition × 2 (son *vs* son occulté), Proprioception × 2 (normale *vs* diminuée), Vision × 2 (normale *vs* vision occultée). Cette analyse statistique a été effectuée avec le logiciel Statistica. Le seuil de significativité était de p<,05.

3 Résultats

Dans le cadre de ce document nous nous limiterons à l'énonciation des effets principaux et des effets simples d'interactions des moyennes des PR.

3.1 Effet de l'expertise

L'analyse statistique montre un effet principal de l'expertise sur la moyenne des PR ($F(1,24) = 4,36$, $p <,05$). La moyenne des PR des cavaliers experts est plus proche de 0° ($0,41 \pm 6,29$ deg) que celle des novices ($2,65 \pm 10,36$ deg) indiquant que les cavaliers professionnels se synchronisent davantage avec le simulateur que les novices.

3.2 Effet segments

L'ANOVA sur les moyennes des PR indique une différence significative entre les segments étudiés ($F(9,216) = 20,68$; $p <,001$). Le test post-hoc de Newman-Keuls précise que :

Au niveau de la partie « Tête – Tronc » :

- la tête se distingue de l'ensemble des segments anatomiques étudiés ($p <,001$) excepté du poignet,
- C7 se différencie du membre supérieur (épaule, coude, poignet) et de la tête ($p <,05$),
- T10 diffère aussi du membre supérieur, de la tête ainsi que du pied (cheville, talon) ($p <,001$),
- le bassin se distingue de l'ensemble des segments (cheville, talon), excepté du rachis (C7 et T10) ainsi que du genou ($p <,01$) ;

Au niveau de la partie « Membre supérieur » :

- l'épaule diffère de l'ensemble des segments (T10, le bassin, la main, C7, le genou) ($p <,05$) excepté du coude, de la cheville et du talon,
- le coude s'assimile à l'épaule et au pied (cheville, talon) et se différencie des autres segments (la tête, le poignet, C7, T10, le bassin, genou) ($p <,05$),
- le poignet se distingue de tous les segments ($p <,01$) à l'exception de la tête ;

Au niveau de la partie « Membre inférieur » :

- le genou se différencie de la tête, et du membre supérieur (l'épaule, le coude et le poignet) ($p <,001$),
- la cheville se différencie de la tête, de T10, du poignet ainsi que du bassin ($p <,01$),
- le talon se différencie de la tête, de T10, du poignet, ainsi que du bassin ($p <,01$).

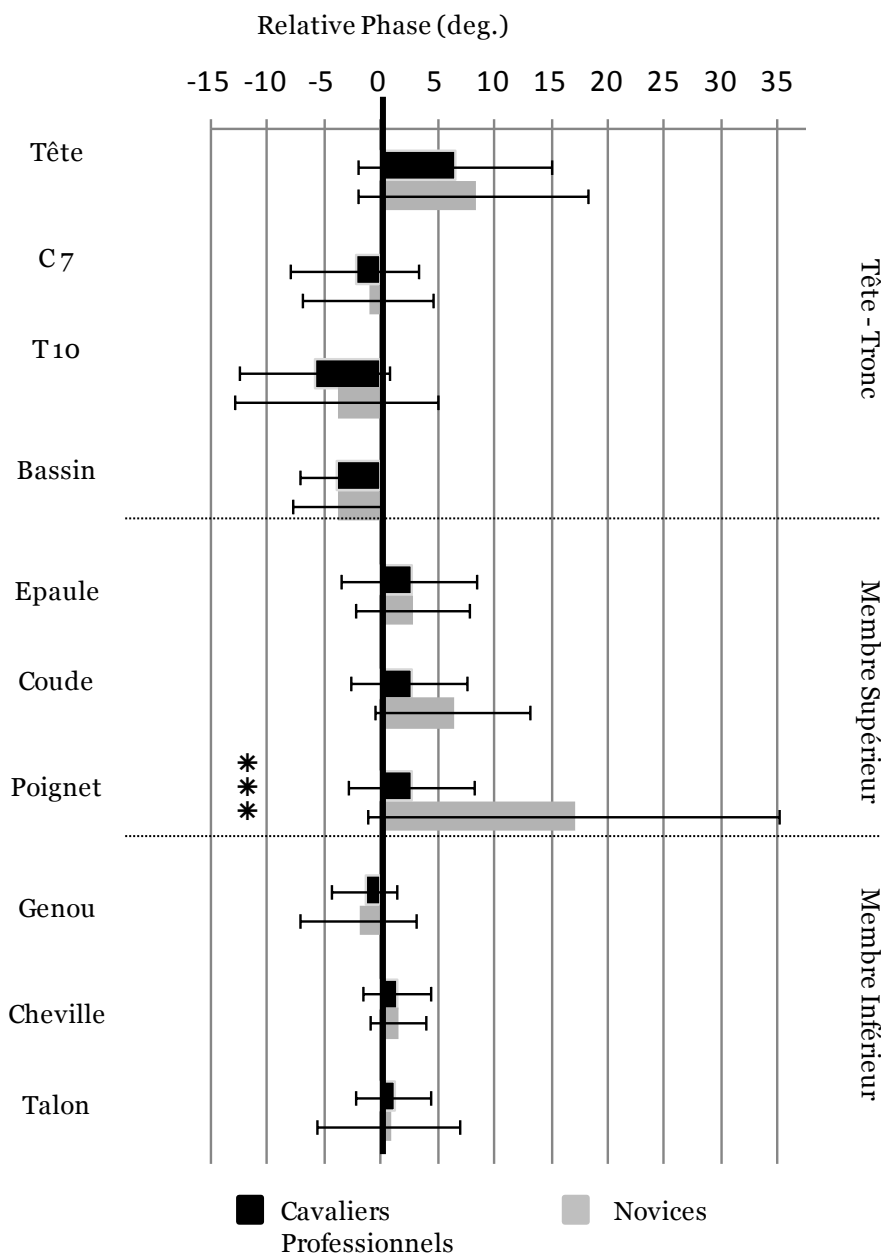
En résumé (Figure II), pour l'ensemble des participants : du bassin au sommet du rachis (C7) la moyenne de la PR est négative (-0°), signifiant que ces points anatomiques sont en anticipation par rapport aux mouvements du simulateur équestre contrairement à la tête (+0°).



Le membre supérieur est en retard de phase avec une PR moyenne positive (+0°) et le membre inférieur est davantage en phase avec une PR moyenne très proche de 0° par rapport aux mouvements du simulateur.

Par ailleurs l'analyse statistique met en évidence un effet d'interaction segment × expertise ($F(9,216) = 4,45$, $p < ,001$). Les résultats post hoc (Newman-Keuls) montrent que la moyenne de la PR du poignet se différencie de tous les segments chez le novice. C'est à ce niveau que les cavaliers professionnels et les novices se distinguent. Les novices ont une PR moyenne beaucoup plus importante que les cavaliers professionnels au niveau du poignet (Figure II).

Figure II : Moyennes et écart types des Phases Relatives (PR) selon les segments corporel étudié et l'expertise
Figure II: Means and standard deviation of Relative Phases (RP) according to the studied segments and the level of expertise



Les cavaliers professionnels sont plus en phase avec le simulateur que les novices et plus précisément au niveau du poignet.



3.3 Effet audition

L'analyse de la variance révèle un effet principal de l'audition sur les moyennes des PR indiquant une différence significative entre les segments ($F(1,24) = 9,34, p < ,001$). La moyenne des PR est plus importante sans audition ($1,74 \pm 8,53$ deg) qu'avec ($1,15 \pm 8,44$ deg). L'isolation de l'audition par les boules quies et le casque anti-bruit a diminué la synchronisation du cavalier sur le simulateur provoquant un léger retard de phase avec le simulateur. Le bruit principalement entendu par les participants était celui du simulateur.

3.4 Effet proprioception

Les résultats de l'analyse statistique ne montrent pas d'effet principal de la proprioception ($F(1,24) = 0,00$, NS). Globalement l'interférence de la mousse sur toutes les parties en contact entre le cavalier et le simulateur n'a pas eu d'influence sur la moyenne de la PR.

Cependant les résultats montrent un effet d'interaction proprioception \times expertise sur les valeurs moyennes des PR ($F(1,24) = 8,39, p < ,01$) dans certaines conditions. L'analyse post-hoc de Newman-Keuls précise cet effet d'interaction : les cavaliers professionnels ont une PR moyenne moins importante ($-0,04 \pm 5,95$ deg) que les novices ($3,26 \pm 10,51$ deg) en condition de proprioception « perturbée » ($p < ,05$). De plus l'ajout de la mousse a augmenté les moyennes des PR des novices de $2,05 (\pm 10,18$ deg) à $3,26 (\pm 10,51$ deg), tandis que celle des cavaliers professionnels a légèrement diminué ($p < ,05$) passant de $0,85 (\pm 6,8$ deg) en condition YON à $-0,02 (\pm 5,73$ deg) en condition YFM.

3.5 Effet vision

L'ANOVA effectuée sur les valeurs moyennes des PR concernant la vision n'est pas statistiquement significative ($F(1,24) = 0,17$, NS). En vision normale ou en vision occultée la moyenne des PR ne varie pas. La vision n'a pas interféré sur la synchronisation du couplage cavalier-simulateur.

Cependant, les résultats de l'analyse montrent un effet d'interaction segment \times vision sur les valeurs moyennes des PR ($F(1,24) = 2,17, p < ,05$). L'analyse post-hoc nous précise qu'en condition yeux ouverts la moyenne de la PR est supérieure par rapport à la condition yeux fermés ($p < ,001$) au niveau du poignet. Ce même segment se distingue de tous les autres dans les deux conditions de vision ($p < ,001$).

4 Discussion

L'objectif de cette étude visait à identifier les modes de coordination sensori-motrice dans l'optimisation du couplage cavalier-cheval. L'analyse des phases relatives a permis de mettre en évidence que le degré de synchronisation du cavalier avec le simulateur dépendait de plusieurs facteurs.

4.1 Effet du niveau d'expertise des cavaliers

Les résultats de l'étude montrent que les cavaliers experts sont plus en phase avec le simulateur que les novices. Ce constat corrobore les études cinématiques exploratoires chez les cavaliers de Lagarde *et al.* (2005) lors de conditions écologiques (dans l'environnement naturel de la pratique) et de Peham *et al.* (2004) en condition semi-expérimentale. Ces derniers étudient la coordination cavalier-cheval avec l'emploi d'un cheval sur tapis roulant permettant de contrôler la vitesse de déplacement du cheval. Le cavalier expert aurait une meilleure perception de la gestion des forces provenant du simulateur équestre et des contraintes de son environnement. Récemment Münz, Eckardt & Witte (2013) montrent aussi des différences de fonctionnement au niveau du bassin selon le niveau d'expertise des cavaliers au moyen d'accéléromètres en condition naturelle de pratique. Avec un nombre plus important de cavaliers étudiés nous allons dans le sens d'une coordination plus prononcée chez les cavaliers experts qui, selon les auteurs, traduirait un relâchement progressif des degrés de liberté et par conséquent un couplage avec le simulateur plus contrôlable en mode « articulé ». Les novices seraient plus rigides sur le simulateur ce qui se traduirait par un déplacement des segments « en bloc ». Ces effets se retrouvent dans d'autres activités sportives, chez les skieurs par exemple (Vereijken *et al.*, 1992, 1997, Teulier, Nourrit & Delignière, 2006) sur simulateur de ski.

4.2 Effet de la position des segments

En ce qui concerne l'analyse des différents segments étudiés, les résultats montrent que la tête et le poignet se distinguent fortement des autres segments et sont davantage en décalage de phase par rapport aux autres. La position de ces deux points à l'extrémité du tronc pour la tête et du bras pour le poignet l'expliquerait. Ce



résultat corrobore celui de Lagarde *et al.* (2005) concernant le cavalier moins expert. Ces deux points anatomiques ont une PR moyenne plus importante que les autres points étudiés signifiant une moindre synchronisation, soit un léger retard par rapport aux mouvements du simulateur.

Le poignet est particulièrement désynchronisé chez le novice par rapport au cavalier expert. Ce résultat atteste aussi de manière indirecte celui de Schöllhorn *et al.* (2006) lors de son analyse en cluster puisqu'ils montrent que les cavaliers experts modifiaient l'angle « tête-encolure » du cheval et non les débutants. Il y aurait donc une utilisation différente des rênes entre les experts et les débutants. L'action des mains sur les rênes serait un signe distinctif du niveau de pratique équestre. Chez le cavalier, le poignet et son prolongement la main, pourraient être considérés comme un référentiel spatial (égocentré) prépondérant dans la coordination posturale des cavaliers. La stabilité des mains des cavaliers paraît être une signature de l'expertise.

La tête et le poignet se différencient chez le novice et non chez les cavaliers experts. Un fonctionnement en mode « articulé » chez les cavaliers experts expliquerait ces différences. Les experts amortiraient davantage les mouvements provoqués par le simulateur par anticipation et stabiliseraient plus aisément leur poignet. Ce résultat corrobore de manière plus empirique les observations des enseignants d'équitation.

Le bassin quant à lui est un segment intéressant dans la mesure où il a une position centrale dans l'interfaçage avec sa monture. Il supporte le rachis, la tête, les membres supérieurs et il fait le lien avec les membres inférieurs. En position assise, le bassin est le point d'appui principal et la base de sustentation du cavalier assis sur la selle. Nos résultats suivent ceux de Munz *et al.* (2013) montrant une anticipation du bassin par rapport au déplacement du cheval sur l'axe vertical (z) dans notre cas. Empiriquement les instructeurs s'accordent sur le fait que ce segment joue un rôle important de communication entre le cavalier et son cheval.

En ce qui concerne le membre inférieur, les nombreux appuis du cavalier sur le simulateur (le contact de l'interface des jambes avec la selle et avec le corps du cheval ainsi que celui du pied dans l'étrier) ont favorisé le couplage.

4.3 Effet des informations sensorielles

Parmi les trois principales entrées sensorielles étudiées (l'audition, la proprioception et la vision), seule l'audition a eu un effet principal sur l'ensemble de la population. L'isolement sonore avec l'ajout de boules quies et d'un casque anti-bruit a perturbé le couplage avec le simulateur de l'ensemble des cavaliers étudiés. Les informations de rythmicité induites par les mouvements du simulateur augmentent la coordination posturale des cavaliers. Ce résultat va dans le sens de nombreuses études sur les « feedback » auditifs (métronome, musique, etc). Par exemple, Demos, Chafin & Marsh (2010) ont étudié le rôle de la musique dans la coordination spontanée entre deux personnes durant la marche. Le rythme de la musique a amplifié la synchronisation interpersonnelle.

La mousse ajoutée sur toutes les parties en contacts avec le simulateur (rênes, selle, étriers) n'a pas eu d'effet sur l'ensemble des moyennes des PR pour tous les sujets. La mousse n'a influencé que le comportement des novices augmentant de manière significative la moyenne de leurs PR. Dans le cas de la pratique de l'équitation, le contact tactile est la première source d'information sensorielle et de référentiation spatiale. L'ajout d'une mousse aurait potentiellement augmenté la stimulation proprioceptive des cavaliers professionnels et amélioré leur couplage à l'inverse des novices. Ces derniers étant peu sensibles aux informations proprioceptives émanant du mouvement du cheval ou du simulateur, l'ajout de la mousse a détérioré le couplage. Ces résultats vont dans le sens des travaux d'Olivier *et al.* (2012) montrant que la sensibilité aux afférences proprioceptives est une caractéristique de l'expertise chez les cavaliers. Ces résultats suivent aussi ceux de Sofianidis *et al.* (2012) dans la discipline de la danse en couple, dans lesquelles la synchronisation interpersonnelle est encore plus efficace avec un contact tactile (la main par exemple) qu'avec le simple retour sonore du métronome.

La vision occultée par les lunettes opaques n'a pas interféré sur la synchronisation posturale de l'ensemble des cavaliers avec le simulateur équestre. Ce résultat ne va pas dans le sens de la littérature montrant de manière générale un meilleur équilibre les yeux ouverts. Quelle que soit la condition de vision (yeux ouverts vs yeux fermés) les sujets ne modifient pas leur mode de coordination avec le simulateur. Sur le plan visuel l'environnement expérimental était très stabilisant (mur blanc) et peu écologique par rapport aux conditions de pratiques (absence de flux optique). L'environnement statique favorise le maintien de l'équilibre. Ces résultats vont dans le sens du travail d'Olivier *et al.* (2012) et de nombreuses études sur l'interaction interpersonnelle dans lesquelles la variation des informations visuelles environnementales ont peu d'impact sur les coordinations motrices rythmiques (Sofianidis *et al.*, 2012 ; Demos, Chafin & Marsh, 2010).

De plus en condition vision occultées, les novices ont obtenu un meilleur couplage entre la main et les mouvements du simulateur équestre. Ce résultat est original dans la mesure où de manière générale la vision



occultée perturbe et n'améliore pas la performance, en équitation ce serait plutôt l'inverse : la vision occultée améliorerait le couplage de certain segment. Ce résultat corrobore la pratique pédagogique de certains enseignants d'équitation.

Conclusion

Cette étude est inédite dans le domaine de l'équitation puisqu'aucun auteur n'a fait varier le poids des informations sensorielles dans les stratégies du contrôle postural des cavaliers. Ces informations sont le moyen privilégié de communication et d'interaction entre le cavalier et le cheval. Les résultats nous précisent que les informations auditives sont une source d'information commune entre les cavaliers novices et experts ayant un rôle prépondérant dans la coordination cavalier-cheval. Ce constat s'accorde particulièrement avec ceux de la littérature sur le rôle des informations sensorielles dans la synchronisation interpersonnelle (Repp & Su, 2013) mais aussi avec ceux « du terrain ». Xavier Delalande, ancien champion de France de CSO, a écrit un livre s'intitulant « L'équitation par le rythme », il montre l'intérêt pour les enseignants et les entraîneurs d'utiliser la musique afin d'améliorer l'équilibre du couple cavalier-cheval. Il a basé sa pédagogie sur l'utilisation de la musique. Cette étude permet d'attester en partie l'utilité de cette méthode.

Avec un échantillon important, notre étude apporte de nouveaux éléments quant à l'expertise des cavaliers. Il existe un meilleur couplage entre le cavalier expert et le cheval lié à une meilleure anticipation du mouvement exercé par le cheval. Ces résultats rejoignent les conclusions de Peham *et al.* (2004), Lagarde *et al.* (2005) et Wolframm, Bosga *et Meulenbroek* (2013) dans des conditions expérimentales écologiques attestant l'utilisation du simulateur équestre. De futures expériences devront le confirmer. A l'avenir, la prise en considération de ces connaissances pourraient améliorer la pratique pédagogique des enseignants d'équitations et des entraîneurs afin d'optimiser l'interaction cavalier-cheval. Ces résultats pourront concourir à l'élaboration d'innovations dans le matériel équestre.

Remerciements

Nous tenons à remercions le Conseil Scientifique de l'IFCE qui a financé en partie ces travaux de recherche. Nous remercions particulièrement M. Maltot, directeur de la Maison Familiale et Rurale de Vimoutiers et M. Langevin, chargé de la formation pour le prêt du simulateur.

Nous remercions vivement le Colonel en chef Puligny pour son intérêt dans nos recherches et la mise à disposition des cavaliers experts de la Garde Républicaine ainsi que le Lieutenant Baccot pour la bonne coordination de cette expérience de recherche.

Références

- Demos, A.P., Chaffin, R., Marsh, K.L. 2010. Spontaneous vs intentional entrainment to a musical beat. Proceedings of the 11th International Society for Music Perception and Cognition. Adelaide, Australia: Casual Productions.
- Ernst, M.O, Bühlhoff, H.H. 2004. Merging the senses into a robust percept. *Trends in cognitive sciences*, 8, 4, 162-169.
- Hosseinimehr, S. H., Norasteh, A. A., Abbasi, A., & Khaleghitazgi, M. 2009. The comparison of dependency on vision and proprioception in gymnastic, wrestling and soccer. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 3, 4, 332-338.
- Galloux, P., Biau, S., Jeddi, R., & Auvinet, B. 1999. Fonctionnement du cavalier sur le plat. Adaptation biomécanique du cavalier à cheval au trot et au galop. *L'équitation*, 16, 18-22.
- Largarde, J., Peham, C., Licka, T., Kelso, J.A.S. 2005. Coordination dynamics of the horse-rider system. *Journal of motor behavior*, 37,6, 418-424.
- Massion, J. (1997). *Cerveau et motricité*. PUF.
- Münz, A., Eckardt, F., Witte, K. 2013. Horse-rider interaction in dressage riding, *Human Movement Science* in press.
- Nessler, A. J., & Gilliland, J. S. 2009. Interpersonal synchronization during side by side treadmill walking is influenced by leg length differential and altered sensory feedback. *Human Movement Science*, 28, 772-785.
- Nourrit-Lucas, D., Zelic, G., Deschamps, T., Hilpron, M., Delignières, D. 2013. Persistent coordination patterns in a complex task after 10 years delay. *Human Movement Science*, 32, 1365-1378.



- Olivier, A. 2012. Contribution des informations visuelles dans le contrôle postural chez les cavaliers. Université de Caen Basse-Normandie ; EA 24 60 CESAMS.
- Olivier, A., Faugloire, E., Biau, S., Lejeune, L., Isableu, B. 2012. Proprioceptive sensitivity and stability of the head : characteristic of experts horse riders. Communication orale et affichée au 8th International Equitation Science Conference, Royal (Dick) Veterinary School, Edinburgh.
- Peham, C., Licka, T., Schobesberger, H., & Meshan, E. 2004. Influence of the rider on the variability of the equine gait, *Human movement science*, 23, 663-671
- Perrot, C., Moes, R., Deviterne, D., & Perrin, P. 1998. Adaptation posturales lors de gestuelles spécifiques aux sports de combat. *Sciences et sports*, 13, 64-74.
- Perrin, P., Schneider, D., Deviterne, D., Perrot, C., & Constantinescu, L. 1998. Training improves the adaptation to changing visual conditions in maintaining human posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support. *Neuroscience Letters*, 245, 155-158.
- Peterka, R.J. 2002. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 88, 1097-1118.
- Pozzo, T., McIntyre, J., Cheron, G., & Papaxanthis, C. 1998. Hand trajectory formation during whole body reaching movements in man. *Neuroscience Letters*, 159-162.
- Repp, H., Su, YH. 2013. Sensorimotor synchronization: a review of recent research. *Psychon Bull*, 20, 3, 403-452.
- Schöllhorn, W.I, Peham, C., Licka, T., Scheidl, M. 2009. A pattern recognition approach for the quantification of horse and rider interactions. *Equine Vet J Suppl*, 36, 400-405.
- Sofianidis, G, Hatzitaki, V, Grouios, G, Johannsen, L, Wing, A. 2012. Somatosensory driven interpersonal synchrony during rhythmic sway. *Hum Mov Sci.* 31, 3, 553-66.
- Stambolieva, K., Diafas, V., Bachev, V., Christova, L., & Gatev, P. 2011. Postural stability of canoeing and kayaking young male athletes during quiet stance. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 5, 1807-1815.
- Teulier, C., Nourrit D. & Delignières, D. 2006. The evolution of oscillatory behavior during learning on a ski-simulator. *Research Quarterly in Exercise and Sport*, 77, 464-475.
- Terada, K. 2000. Comparison of head movement and EMG activity of muscles between advanced and novice horseback riders at different gaits. *J. Equine Sci.*, 11, 4, 83-90.
- Vereijken, B., van Emmerik, R. E. A., Bongardt, R., Beek, W. J., & Newell, K. M. 1997. Changing coordinative structures in complex skill acquisition. *Human Movement Science*, 16, 823-844.
- Münz, A., Eckardt, F., & Witte, K. 2013. Horse-rider interaction in dressage riding. *Human Movement Science*, in press.
- Vuillerme, N., Teasdale, N., Nougier, V. 2001b. The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects. *Neuroscience letter*, 311, 73-76.
- Wolframm, I.A., Bosga, J., Meulenbroek, RGJ. 2013. Coordination dynamics in horse-rider dyads. *Human Movement Science*, 32, 157-170.