

ifce

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



43^{ème} Journée de la Recherche Équine
Jeudi 16 mars 2017

Optimiser l'interaction cavalier-cheval : Quel est le rôle des informations sensorielles dans le contrôle postural des cavaliers ?

A. Olivier^{1,2}

¹ CIAMS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, Orsay, France

² CIAMS, Université d'Orléans, Orléans, France

Résumé

En équitation, la performance repose sur l'optimisation de l'interaction entre le cavalier et son cheval. Les informations sensorielles (vision, audition, proprioception) nous renseignent sur l'environnement et sont indispensables au contrôle de l'équilibre et de l'orientation posturale. Ces informations sont le moyen privilégié de communication et d'interaction entre le cavalier et le cheval. Toutefois le poids de ces informations dans la performance évolue avec l'expertise et selon les différences interindividuelles. L'objectif global de nos recherches est d'identifier les déterminants sensori-moteurs de l'expertise des cavaliers. Trois études sont présentées : une première étude descriptive sur les **stratégies d'exploration visuelle**, une seconde étude sur le poids des informations visuelles dans le contrôle de la posture et enfin une troisième étude sur la **contribution des informations sensorielles dans l'optimisation de l'interaction cavalier-cheval**. Au total, cette **gradation d'expériences** permet de mieux **circonscrire l'expertise à cheval** et d'envisager des entraînements spécifiques « cavaliers » selon leurs profils postural et sensoriel.

Mots clés : Coordination posturale, informations sensorielles, expertise, interaction cavalier-cheval

Summary

Horseback riding performance is based on interaction optimization between the rider and his horse. The sensory information (vision, auditory, proprioception) provide information about the environment and are critical for balance control and postural orientation. These information are also the way of communication and interaction between the rider and the horse. However the weight of these information depend on expertise and interindividual differences. The overall objective of this research is to identify sensorimotor determinants of riders expertise. Three studies are presented : a first descriptive study on visual search strategy, a second study on the weight of the visual information in postural control and finally a third study on the contribution of sensory information in the optimization of the rider-horse interaction. In total, this series of experiments allows better defining horse riding expertise and has implication in riders training according to their postural and sensory profiles.

Key-words: Postural coordination, sensory information, expertise, horse-rider interaction



Introduction

L'équitation est un modèle d'interaction homme-animal complexe dans la mesure où elle fait intervenir un cheval dans la performance. La performance sportive selon Platanov (Weineck, 1996, Manuel d'entraînement) exprimerait « les possibilités maximales d'un individu dans une discipline à un moment donné de son développement. » En équitation, le principal facteur de réussite en compétition est l'optimisation de l'interaction entre le cavalier et son cheval. Parmi la pluralité des facteurs favorisant la performance tels que les capacités psychologiques, physiologiques, physiques, tactiques, techniques et les aptitudes cognitives, la particularité de l'équitation nous incite tout d'abord à définir les déterminants d'un couple efficient. Nos recherches portent sur l'étude des déterminants de l'interaction cavalier-cheval, et en particulier sur ce que les entraîneurs et enseignants appellent : « avoir le feeling » ou « voir ses foulées à l'obstacle » lorsqu'on leur demande de caractériser un cavalier performant. Qu'entend-t-on réellement sous ces termes ?

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 (Ernst & Bühlhoff, 2004). En équitation, ces informations sont le moyen privilégié de communication et d'interaction entre le cavalier et le cheval. Le cavalier, bipède, va devoir passer d'un état d'équilibre naturel sur ses pieds lors de la marche à un état d'équilibre « subit » sur son bassin lorsqu'il se retrouve à cheval. Le cavalier va devoir apprendre à percevoir et à anticiper les variations spatio-temporelles des mouvements du cheval et accorder les siens à partir des appuis fessiers et podaux. La régulation de l'équilibre et de l'orientation du corps à cheval est contrainte par les mouvements de celui-ci et repose sur l'interaction de systèmes sensori-moteurs.

Toutefois, l'utilisation des informations sensorielles est très variable d'un individu à l'autre et induit une appréciation différente de l'espace égocentré (« son propre corps », « les différents segments articulés autour du tronc ») et de l'espace exocentré (« son corps dans l'environnement », « la structure du monde extérieur »). Par conséquent, la régulation de l'équilibre et de l'orientation posturale semble différer selon les personnes. 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.

L'objectif global de nos études est de mettre en évidence les informations sensorielles privilégiées par les cavaliers experts dans le contrôle et la stabilité posturale.

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 multi-segmentaires 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 au niveau de la tête (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 couples 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 couplés en phase avec le mouvement de la plateforme, les danseurs experts sont également capables de changer de mode de couplage et de devenir attracteurs 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.

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 ; Schöllhorn *et al.* 2006). 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 inter-segmentaire 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) ont effectué une analyse cinématique des mouvements du cavalier et du cheval au trot. Ils montrent 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 du 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. Baillet *et al.* (2016) étudient la dépense énergétique ainsi que les modes de coordinations cavaliers/simulateur équestre. A l'aide de systèmes d'analyse du mouvement 3D ils montrent avec plus de précisions des différences d'expertise des cavaliers ainsi que des liens étroits entre consommation d'énergie et les modes de coordinations posturales.**

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 principalement sur le terrain (situation écologique) 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.

3 Etude 1 : Quelle est la stratégie d'exploration visuelle des cavaliers ?

« Avoir le coup d'œil » ou « voir ses foulées » sont autant de remarques qu'évoquent les cavaliers de saut d'obstacles (CSO) pour qualifier la performance lors de la réalisation d'un parcours. L'information visuelle renseigne les cavaliers sur la vitesse, le tracé à réaliser, et les zones d'abord des obstacles.

L'objectif de cette étude est d'analyser les stratégies d'exploration visuelle chez les cavaliers de saut d'obstacles de niveaux d'expertise différents. De nombreux travaux ont établi des liens étroits entre les stratégies d'exploration visuelle et le niveau d'expertise dans différentes disciplines sportives. En règle générale, les experts réalisent moins de fixations oculaires que les débutants et ils obtiennent des durées moyennes de fixation plus longues. De plus, selon les disciplines sportives il existe des stratégies



d'exploration visuelle spécifiques : la « poursuite visuelle », par exemple, pour les sports de raquettes ; le « Quiet Eye » pour les sports de tir. Cette notion de « Quiet Eye » (QE) introduit par Vickers (2007) se définit comme une fixation oculaire de longue durée sur un endroit précis avant le mouvement (comme on peut l'observer par exemple lors d'un lancer franc au basket-ball). En CSO les données sont peu nombreuses, anciennes et peu précises à ce sujet. Laurent *et al.* (1982 ; 1987) se sont penchés sur le problème de la régulation des foulées à l'abord de l'obstacle, et ont montré que la régulation est plus précoce et plus précise chez les experts. Ils ont établi que le regard du cavalier était fixé sur la barre supérieure de l'obstacle pendant toute la phase d'abord, et que la tête était stabilisée par rapport au corps et à l'environnement. La stabilisation du regard mise en évidence par Laurent *et al.* correspondrait-elle à la stratégie du QE des cavaliers de CSO ?

3.1 Méthode et résultat

3.1.1 Méthode

Nous avons enregistré les mouvements oculaires auprès de 20 cavaliers experts et 22 cavaliers débutants. Les experts pratiquaient l'équitation depuis plus de 10 ans et concouraient en CSO à un niveau Amateur minimum. Les données ont été recueillies au moyen d'un système oculométrique (ASL Eyetracking System 5000 SU) d'enregistrement et d'analyse du mouvement oculaire. La scène visuelle projetée aux cavaliers était un parcours de saut d'obstacles provenant d'un logiciel de simulations de parcours « Simpiste » élaboré par l'Ecole Nationale d'Equitation et par la société PerSival. Après une période de familiarisation avec la simulation nous avons procédé à l'enregistrement et à l'analyse des fixations oculaires des cavaliers selon leur niveau d'expertise.

3.1.2 Résultat

Les résultats mettent en évidence un effet de l'expérience des cavaliers ainsi que la stratégie du « QE » Olivier, A. (2011).

Les cavaliers experts réalisent un nombre moins important de fixations oculaires ($69,40 \pm 21,04$) que les débutants. Cependant, l'analyse ne montre pas d'effet de l'expertise sur la durée moyenne des fixations. Les cavaliers experts ont une durée moyenne de fixations oculaires ($0,950 \text{ sec} \pm 0,44$) comparable aux débutants ($0,810 \text{ sec} \pm 0,45$). Cette étude corrobore en partie les études menées dans d'autres activités physiques et sportives. Avec peu de fixations, les cavaliers experts auraient la capacité à interpréter la situation. Ils identifieraient les repères les plus pertinents sur un parcours de saut d'obstacles. Ils anticiperaient donc plus et exploreraient moins.

Une analyse plus précise des fixations oculaires sur le premier obstacle de la simulation visuelle met en évidence un effet du niveau d'expertise sur les durées maximales des fixations oculaires. Les cavaliers experts effectuent des fixations maximales de plus longue durée ($3,08 \text{ sec} \pm 1,34$) que les débutants ($2,27 \text{ sec} \pm 1$). Cette longue fixation se situe dans la zone d'abord du saut (figure I). Ce résultat correspond à ce que Vickers définit comme la stratégie du « Quiet Eye » qui est caractéristique des athlètes de haut niveau, révélatrice d'un certain niveau de précision et de concentration.

Figure I : Illustration de la stratégie visuelle du « Quiet eye » (Les flèches représentent la durée de la fixation oculaire selon le niveau d'expertise dans la zone d'abord du saut.)

Figure I: Illustration of the "Quiet eye" visual strategy



3.2 Conclusion et perspectives

Les cavaliers experts en CSO se distinguent des cavaliers débutants sur le nombre de fixations oculaires dans l'ensemble du parcours ainsi que sur la durée de la fixation la plus longue avant le saut. « Percevoir ses foulées » en saut d'obstacles semble passer par la stratégie du « Quiet Eye », mise en évidence précédemment dans d'autres sports (lancer franc au basket-ball, swing au golf, réception au volleyball), mais pas encore



dans la discipline du CSO. A plus ou moins long terme ces connaissances devraient nous permettre d'élaborer des protocoles d'entraînement plus efficaces pour les cavaliers sur le plan de la performance.

4 Etude 2 : Quel est le rôle des informations visuelles dans le contrôle de la posture du cavalier ?

La vision joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre et nous permet de prendre diverses informations sur notre environnement extérieur. Les experts seraient capables de s'affranchir des perturbations visuelles en prenant plus en compte les informations vestibulaires et proprioceptives contrairement aux moins experts. Cette capacité de « régulation sensorielle » lors de situations de déséquilibre dynamique leur permettrait d'adapter leurs coordinations entre les différents segments du corps afin de maintenir un équilibre optimal.

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer le rôle des informations visuelles statiques et dynamiques (Amblard *et al.*, 1985) dans la stabilité de la tête et le contrôle des coordinations posturales « tête-tronc » chez les cavaliers selon leur niveau d'expertise. Nous émettons l'hypothèse que l'importance accordée aux signaux non-visuels (proprioceptif et vestibulaire) devrait être supérieure chez les cavaliers professionnels. La suppression sélective ou totale des informations visuelles conduirait les cavaliers experts à moduler leur coordination tête-tronc afin d'optimiser leur stabilité et ce plus précisément au niveau de la tête.

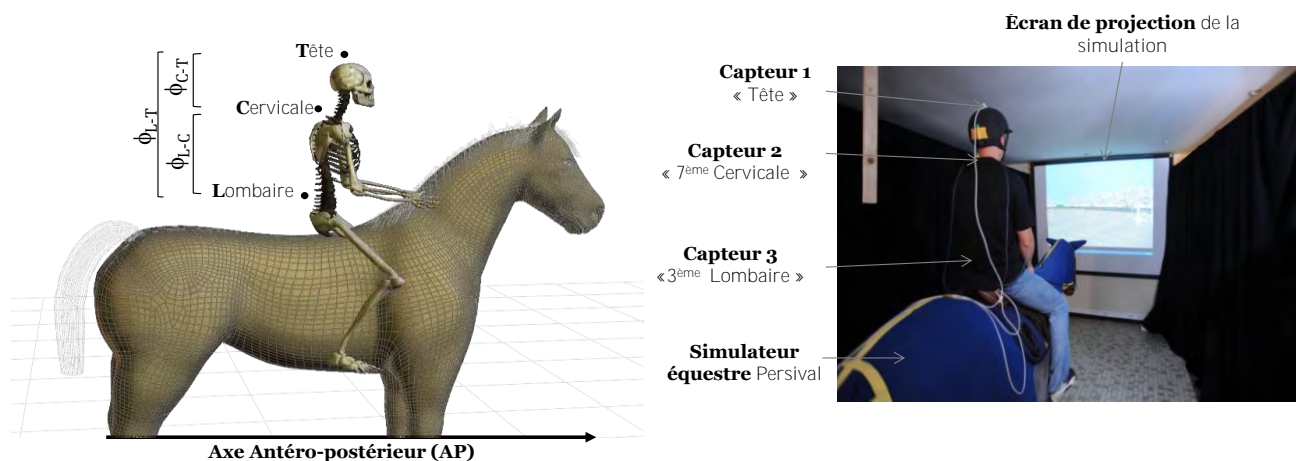
4.1 Méthode et résultat

4.1.1 Méthode

Les mouvements de la tête et du tronc de cavaliers professionnels et de cavaliers de clubs ont été enregistrés dans quatre conditions d'expérimentale. Chaque cavalier était assis sur le simulateur Persival, face à un écran de projection. Trois capteurs d'analyse du mouvement ont été positionnés : un au sommet de la tête, sur le casque, au niveau du lobe pariétal, un deuxième sur la 7^{ème} vertèbre cervicale puis un troisième sur la 3^{ème} vertèbre lombaire (figure II). Les mesures sont réalisées au galop (allure des parcours de saut d'obstacles). L'enregistrement des données s'effectue dans quatre conditions de vision manipulant les informations dynamiques du mouvement (captés principalement par la vision périphérique) et les informations statiques (captés principalement par la vision focale). Au préalable tous les cavaliers ont effectué un test de perception de la verticale subjective (RFT d'Oltman, 1968) indiquant le degré de dépendance au référentiel visuel d'orientation spatial.

Figure II : Dispositif expérimental et représentation des coordinations étudiées

Figure II: experimental set-up and coordination representation



4.1.2 Résultat

Quel que soit les indices visuels perturbés les cavaliers professionnels effectuent moins de déplacements de l'axe antéro-postérieur au niveau de la tête, de la 7^{ème} cervicale ainsi que de la 3^{ème} lombaire. De plus les déplacements de la tête des cavaliers professionnels sont moindres au niveau de la tête dans les trois axes de déplacements étudiés (antéro-postérieur, médio-latéral, vertical).

Les cavaliers professionnels sont davantage Indépendants à l'égard du champ visuel (IC) (ils réalisent moins d'erreur d'estimation de la verticale) alors que les cavaliers de clubs sont davantage Dépendants à l'égard du champ (DC). Ces résultats sont corrélés avec les déplacements de la tête. Les cavaliers Indépendants à l'égard du champ visuel (IC) enregistrent de moins grandes amplitudes de mouvements au niveau de la tête que les



Dépendants (DC). Une plus importante sensibilité aux informations proprioceptives serait un gage de performance postural.

Nos résultats montrent un mode de coordination Lombaire-Cervicale (L-C) en anti-phase ($\pm 180^\circ$), indiquant que les deux segments évoluent en directions opposées quelles que soient les conditions de vision.

Un effet « expertise » nous précise que les déplacements du sommet du tronc (7ème Cervicale), chez les cavaliers professionnels, anticipent **d'environ 20°** en moyenne ceux du bas du tronc (3ème Lombaire). Nous relevons chez les cavaliers de clubs une coordination strictement en mode anti-phase, **soit le résultat d'un comportement mécanique sans anticipation.**

Pour l'ensemble des cavaliers étudiés, le mode de coordination Lombaire-Tête (L-T) est en opposition de phase ($\pm 180^\circ$) indiquant que les deux segments se déplacent en sens opposé. L'analyse statistique ne montre pas d'effet de l'expertise sur cette coordination L-T. En revanche elle révèle un effet des conditions de vision. Plus les conditions de vision se dégradent par la diminution des informations dynamiques à la non vision (vision occultée) plus la position de la tête anticipe celle de la 3^{ème} Lombaire. Cet effet serait principalement le fait des cavaliers professionnels.

La coordination Cervicale-Tête (ϕ C-T) **est en phase pour l'ensemble des cavaliers.** L'analyse indique plus précisément que la coordination de la tête par rapport à la Cervicale 7 évolue selon la dégradation progressive **des informations visuelles (dynamiques et statiques) de l'environnement uniquement chez les cavaliers professionnels.** Le cavalier professionnel est capable de moduler la coordination entre ses différents segments comparativement aux cavaliers de clubs, qui ne changent pas de coordination inter-segmentaire. Les cavaliers experts auraient cette capacité à repondérer les informations visuelles disponibles dans leur environnement visuel afin de maintenir leur tête stable (Olivier *et al.*, 2012, 2017).

4.2 Conclusion et perspectives

La stabilité de la tête serait un marqueur de l'expertise des cavaliers. Nos résultats vont dans le sens des études réalisées chez les cavaliers depuis les travaux de Vitte *et al.* (1995) Galloux *et al.* (1999), Fouquet (1995) jusqu'à ceux de Peham *et al.* (2004) et Lagarde *et al.* (2005) sur la stabilité, où **l'on observe moins de déplacements posturaux chez les experts.** La tête serait considérée comme une plate-forme de guidage inertiel, ce qui corroborerait les travaux de Pozzo *et al.* (1990), : **la tête serait un point d'ancrage au contrôle postural sur lequel l'équilibre dynamique serait organisé et les mouvements du corps coordonnés durant la réalisation de mouvements complexes.** La tête contient plusieurs capteurs sensoriels, il semblerait donc **important de la stabiliser en vue d'être plus performant.**

L'altération des informations visuelles ne perturberait pas les cavaliers experts. Quelles que soient les conditions de vision, **l'expert est toujours plus stable.** Les informations de mouvements ou dynamiques de l'environnement paraissent **plus importantes chez les cavaliers de clubs que chez les professionnels.** Ces résultats vont dans le sens des études sur l'expertise en sport (Paillard & Noé, 2006 ; Vuillerme *et al.*, 2001) où **la contribution des informations visuelles dans le contrôle postural diminue avec l'augmentation du niveau de pratique.**

Les corrélations entre les enregistrements des déplacements de la tête et les scores obtenus au test perceptif du RFT confirment le rôle prépondérant des informations proprioceptives dans le maintien de la stabilité de la tête. **L'amélioration du contrôle postural des cavaliers passerait par le développement de certaines informations sensorielles en vue d'améliorer l'équilibre et l'interaction avec le cheval.**

La contribution des informations visuelles et non visuelles dans la régulation des coordinations motrices chez **les cavaliers en fonction de leur expertise n'avait jusque-là pas encore été étudiée.** Les résultats de l'analyse montrent que les cavaliers professionnels modifient leurs modes de coordinations inter-segmentaires en fonction des conditions de suppression sélective ou totale de la vision afin de stabiliser leur tête. Cette modulation des modes de coordination est absente chez les cavaliers non experts et se traduit par une grande instabilité de la tête. Ces résultats nous incitent à penser que les experts auraient développé par **l'entraînement une perception plus fine des sources d'incertitudes impactant négativement la performance et une aptitude à s'adapter à la situation (identifier les informations les plus fiables) afin de limiter les perturbations et stabiliser au mieux leur tête (vraisemblablement d'origine vestibulaire, Isableu *et al.*, 2010).**



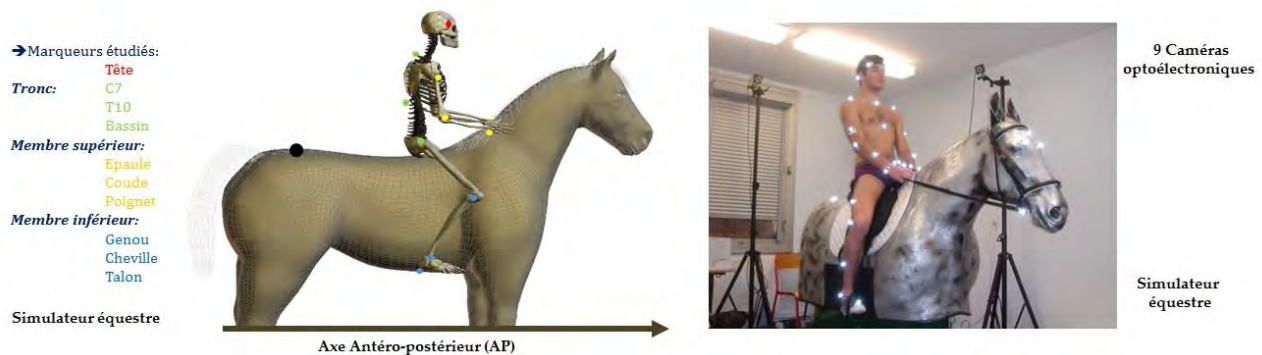
5 Etude 3 : Contribution des informations sensorielles dans l'optimisation de l'interaction cavalier-cheval

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 et évoluerait chez l'expert vers une prépondérance des informations proprioceptives (e.g. Vuillerme *et al.*, 2001). L'objectif de cette étude visait à identifier l'évolution du poids des informations visuelles, proprioceptives et auditives dans le contrôle des coordinations motrices mises en œuvre par le cavalier en fonction de son niveau d'expertise.

5.1 Méthode

14 cavaliers professionnels provenant de la Garde Républicaine et des cavaliers de compétition ainsi que 12 novices n'ayant jamais obtenu de diplômes équestres ont été recrutés. Les participants ont été positionnés sur un simulateur équestre à une fréquence de 1,16 Hz, proche de l'allure galop. L'intérêt principal du simulateur est qu'il permet de placer tous les sujets dans les mêmes conditions expérimentales. L'enregistrement des déplacements corporels a été réalisé au moyen de caméras optoélectroniques « Optitrack » à une fréquence de 250 Hz. Les participants étaient équipés de marqueurs rétro-réfléchissants sur différents segments ainsi que le simulateur : la tête, le tronc (C7, T10), le bassin, le membre supérieur (épaule, coude, poignet) et le membre inférieur (genou, cheville, talon) pour le cavalier et sur la croupe du simulateur (Cf Lagarde *et al.*, 2005).

Figure III : Dispositif expérimental et représentation des points anatomiques étudiés
Figure III : Experimental set-up and marker-set representation



Les sujets devaient se stabiliser au cours de 8 essais de 50 secondes entrecoupés de pauses de 60s dans plusieurs conditions sensorielles. La vision était occultée au moyen de lunettes opaques, l'audition fut masquée par l'emploi d'un casque anti-bruit et de boules quies, et enfin la proprioception fut dégradée par l'ajout d'une mousse sur toutes les parties en contact avec le simulateur. Dans cette étude nous avons étudié les coordinations de chaque marqueur du cavalier par rapport à l'axe vertical (z) des mouvements de la croupe du simulateur équestre.

5.2 Résultat et discussion

Tête-Tronc : Les différentes conditions sensorielles n'ont pas eu d'impact à ce niveau (figure IV).

Membre supérieur & effet vision : Les résultats de cette analyse montrent un effet principal de l'expertise ainsi qu'un effet d'interaction expertise \times segment se situant au niveau du poignet. La coordination des professionnels est plus synchronisée (en phase) avec le simulateur que celle des novices. De plus l'analyse montre un effet principal vision ainsi qu'un effet d'interaction vision \times expertise. En condition vision occultée la coordination est plus synchronisée chez les novices au niveau du poignet. Cette condition augmente la synchronisation du poignet des novices avec le simulateur et ne modifie pas celle des professionnels toujours plus en phase. 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. Ce résultat va dans le sens des 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).

Membre inférieur & effet proprioception : Notre analyse statistique met en évidence un effet principal proprioception ainsi qu'un effet d'interaction proprioception \times expertise. L'ajout de la mousse sur la selle, l'interface des jambes ainsi que sous les pieds a perturbé la coordination des novices et améliore celle des cavaliers professionnels. La qualité du couplage observé chez le cavalier expert serait liée à une meilleure anticipation (proprioceptive) du mouvement du cheval. Ces résultats rejoignent aussi le constat de Peham *et*

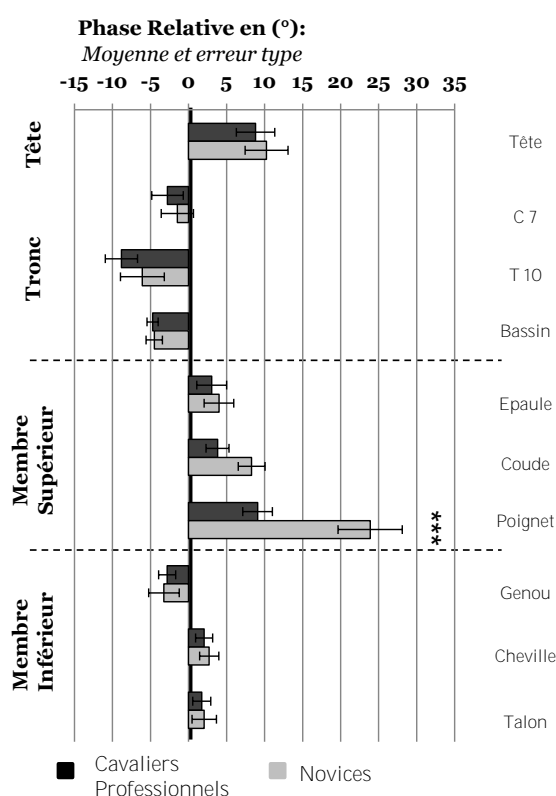


al. (2004) sur la probable prépondérance des informations tactiles et haptiques dans le contrôle de l'équilibre et de l'orientation des cavaliers synchronisé aux mouvements du cheval.

Les résultats de ces analyses n'ont pas relevé d'effet principal de la condition audition masqué. Le son rythmique du simulateur n'a pas interféré sur le couplage cavalier-simulateur à ce niveau.

Figure IV : Phase relative (PR) moyenne en ($^{\circ}$) des différents segments étudiés selon le niveau d'expertise des cavaliers. Une PR égale à 0° informe que le segment étudié est en phase avec le mouvement du simulateur. Une PR négative ($-<0^{\circ}$) indique que le segment étudié est en anticipation alors qu'une PR positive ($+>0^{\circ}$) signifie un retard du segment étudié par rapport au mouvement du simulateur (réfèrent).

Figure IV. Relative phase mean in ($^{\circ}$) different segments studied according to expertise. PR equal to 0° informs that the segment studied is in phase with the movement of the Simulator. PR negative ($-<0^{\circ}$) indicates that the segment studied anticipate so that a positive PR ($+>0^{\circ}$) means a delay of the segment studied compared to the movement of the Simulator (referrerr)



5.3 Conclusion

Les résultats montrent une utilisation différente des entrées sensorielles avec le niveau d'expertise des cavaliers. Grâce à un échantillon plus important, notre étude apporte de nouveaux éléments sur les déterminants de l'expertise des cavaliers. L'expert ne modifie pas son mode de coordination avec le simulateur quel que soit la modalité sensorielle sollicitée contrairement aux novices. L'expert détecterait les sources d'incertitudes (bruit) plus rapidement et exploiterait plus efficacement les informations proprioceptives encore disponibles et fiables. La prise d'information des mouvements du cheval à partir des rênes (coordination de la main avec le simulateur) semble être un déterminant majeur de l'expertise.

6 Perspectives

Ces études sont inédites 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. 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 Wolfram, 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'équitation 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 remercions particulièrement le **Conseil Scientifique de l'Ifce**, le Fonds Eperon et l'**INSEP** pour le financement de nos recherches.

Nous remercions les nombreux cavaliers **de l'étude 1**, provenant principalement de la SHUC (Société Hippique Urbaine de Caen), **d'avoir participé à cette étude ainsi que l'Ecole Nationale d'Équitation (ENE) pour sa collaboration dans l'étude 2 et les cavaliers de l'école pour leur disponibilité.**

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 dans l'étude 3 ainsi que le Colonel en chef Puligny** pour son intérêt dans nos recherches et la mise à disposition des cavaliers experts de la Garde Républicaine.

Références

- Amblard, B., Crémieux, J., Marchand, A.R., Carblanc, A. (1985). Lateral orientation and stabilization of human stance : static versus dynamic visual cues. *Experimental Brain Research*, 61, 21-37.
- Baillet, H., Thouvarcq, R., Vérin, E., Tourny, C., Benguigui, N., Komar, J. & David Leroy. 2016. Human Energy Expenditure and Postural Coordination on the Mechanical Horse, *Journal of Motor Behavior*.
- Ernst, M.O, Bühlhoff, H.H. 2004. Merging the senses into a robust percept. *Trends in cognitive sciences*, 8, 4, 162-169.
- Fouquet, B. (1995). Biomécanique du rachis lombaire. **L'équitation est-elle une école du dos ?**. *L'équitation*, 9, 73-80.
- 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.
- Hosseimehr, 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 Biomechanics*, 3, 4, 332-338.
- Isableu, B., Olmann, T., Crémieux, J., Amblard, B. (2003). Differential approach to strategies of segmental stabilisation in postural control. *Experimental brain research*, 150, 208-221.
- Isableu, B., Ohlmann, T., Cremieux, J., Vuillerme, N., Amblard, B., Gresty, M.A. (2010). Individual differences in the ability to identify, select and use appropriate frames of reference for perceptuo-motor control. *Neuroscience*, 169, 1199-1215.
- 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.
- Laurent, M., Pailhous, J. (1982). **Contribution à l'étude de pointage locomoteur, Application au saut en longueur et au saut d'obstacles en équitation.** *Sciences et techniques des activités physiques et sportives*, 5, 1-13.
- Laurent, M., Dinh Phung, R., Ripoll, H. (1987). **Quelles informations sont utilisées par le cavalier à l'abord de l'obstacle en équitation ?**. *Recherches en APS*, 2, 1-16.
- 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.
- 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. 2017. Head Stability and Head-Trunk Coordination in Horseback Riders: The Contribution of Visual Information According to Expertise. *Front. Hum. Neurosci.* 11:11. doi: 10.3389/fnhum.2017.00011
- Olivier, A., Jevrey, J., Teulier, C., Isableu, B. 2015. Interaction cavalier-cheval : contribution des **informations sensorielles et du niveau d'expertise**, *Communication Orale – Actes de la 16ème congrès international de l'ACAPS – Nantes*
- Olivier, A., & Thullier, F. 2011. Le « **Quiet eye** » : **stratégie d'exploration visuelle chez les cavaliers experts de saut d'obstacles.** *Poster – Actes de la 37ème Journée de la Recherche Équine*, Paris.
- Oltman, P.K. (1968). A portable rod-and-frame apparatus. *Perceptual and motor skills*, 26, 503-506.



- Paillard, J. Noé, F. (2006). Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 345-348.
- 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.
- Pozzo, T., McIntyre, J., Cheron, G., & Papaxanthis, C. 1998. Hand trajectory formation during whole body reaching movements in man. *Neuroscience Letters*, 159-162.
- Pozzo, T., Berthoz, A., Lefort, L. (1990). Head stabilization during various locomotor tasks in humans. *Experimental brain research*, 82, 97-106
- 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.
- Sofianidis, G., Hatzitaki V., Grouios G., Johannsen, L. & Wing, A. (2012). Somatosensory driven interpersonal synchrony during rhythmic sway. *Human Movement Science*. 31:553-566.
- 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.
- Vickers, J.N. 2007. Perception, cognition, and decision training: The Quiet Eye. *Human kinetic*.
- Vitte, E., Pozzo, T., Soulie, D. (1995) Equilibre et équilibration. *Medecine du sport*, 177-180.
- 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.
- Weineck, J., (1996). *Manuel d'entraînement*. Vigot.
- Wolframm, I.A., Bosga, J., Meulenbroek, R.G.J. 2013. Coordination dynamics in horse-rider dyads. *Human Movement Science*, 32, 157-170.