

Effet de l'expertise sur la biomécanique du couple cavalier-cheval en compétitions d'endurance : étude pilote

Par :

- C. Nicol¹, S. Viry^{1,3}, JP. Frances², P. Fourgeaud³, M. Laurent¹
- ¹ Aix-Marseille Univ. (UMR 6233), 163 avenue de Luminy, CP 910, 13288 Marseille cedex 09
- ² Ecuries JPF, domaine de ménage neuf, 13770 Venelles
- ³ BRDCONCEPT, 46 route d'arixague, 64600 Anglet

Résumé

En équitation, les études biomécaniques se sont centrées sur la description de la locomotion du cheval et sur les causes de variabilité de celle-ci. Le développement des technologies embarquées rend possible l'étude du couple cavalier/cheval en utilisant de façon synchrone 2 accéléromètres 3D, l'un placé sur le cheval et l'autre sur le cavalier. La notion de couplage, inspirée de l'approche dynamique des systèmes complexes s'applique particulièrement au 'système' ou couple cavalier-cheval. Cette étude pilote a pour finalité d'étudier les paramètres cinématiques et dynamiques de la locomotion du cheval pendant des épreuves d'endurance chez deux couples de niveau national et deux autres de niveau international. Les résultats montrent des effets sur la vitesse, directement liés à l'expertise. L'analyse des fréquences de course montre des variations importantes en fonction des allures mais aussi des effets directement liés au cheval. Concernant le couplage, des formes ou signature ont fait l'objet d'une première étude qualitative sur les déplacements selon l'axe vertical. Les allures de trot enlevé et galop produisent des signatures distinctes. Elles sembleraient, tout en présentant des caractères invariants (points remarquables), caractériser chacun des couples étudiés. Ces travaux qui trouvent leur application directe dans le domaine de l'optimisation de la performance avec le souci de préservation du cheval seront confirmés par des études ultérieures sur un plus grand nombre de couples.

Mots clés : équitation d'endurance, technologies embarquées, systèmes complexes, optimisation de la performance, expertise.

Summary

In riding, most biomechanical studies have focused on the description of the horse locomotion and on the sources of its variability. The recent development of mobile recording technologies allows the study of the rider/horse coupling by using simultaneously two 3D accelerometers placed on the horse and rider, respectively. The coupling concept, inspired from the dynamic approach of complex systems, is particularly appropriate for the analysis of the 'system' or rider/horse couple. This pilot study aims at studying in four rider/horse couples (two of national and two of international levels) the kinematics and dynamic parameters of the horse locomotion along endurance events. The results show some effects on the gait speed, which are directly dependent on the expertise level. The gait frequency analysis reveals significant variations depending on the gallop vs. rising trot condition, but also the direct influence of the horse. In terms of coupling, forms and signatures have been first qualitatively defined and examined for the movements along the vertical axis. The rising trot and gallop are characterized by distinct signatures. Although including some invariants (remarkable points), they seem to characterize each of the studied couples. The present work, which has direct application to the field of performance optimization with the aim of preserving the horse, will be confirmed by further studies on a larger number of subjects.

Key-words: endurance riding, mobile recording device, complex systems, performance optimization, skill level.

Introduction

En équitation, l'essentiel des études portent sur une approche biomécanique de la locomotion du cheval et sur les causes de sa variabilité (Barrey, 1999). L'analyse du cavalier se limite à l'influence de sa présence ou de son niveau d'expertise sur la régularité de la locomotion du cheval (Peham *et al.*, 2004 ; Lagarde *et al.*, 2005 ; Schöllhorn *et al.*, 2006), de sa position sur les pressions dorsales subies par le cheval (De Cocq *et al.*, 2009) ainsi qu'à son influence sur le degré de boiterie (Licka *et al.*, 2004). Munster *et al.* (2011) ont récemment étudié l'influence du cavalier sur la fréquence cardiaque et sur le comportement du cheval révélant ainsi des couples plus ou moins 'assortis'. Ces données soulignent l'intérêt d'approfondir l'interaction cavalier-cheval à des fins de performance. En effet, les travaux anciens comme ceux par exemple de Laurent *et al.* (1989) sur les stratégies visuelles du cavalier à l'approche de l'obstacle restent assez rares.

Pour cette étude nous nous centrerons sur les problèmes que soulèvent les courses d'endurance pour lesquelles le cavalier doit gérer, sur des durées entre 6 et 9 heures selon le niveau de performance, le conflit entre vitesse et fatigue du cheval, conflit qui peut devenir extrême pour ce dernier. Ainsi, le cavalier doit atteindre la vitesse moyenne la plus élevée compatible avec la présentation d'une monture 'en état' lors des contrôles vétérinaires qui portent sur les allures, la récupération cardiaque, le transit, etc. D'après la récente étude de Nagy *et al.* (2010) sur courses internationales d'au moins 100 km, le taux d'élimination pour cause de boiterie et/ou de trop lente récupération représenterait respectivement 69.2 et 23.5% de toutes les éliminations. Il est donc évident que l'économie du geste et la dynamique développée par le couple deviennent des facteurs clés de la réussite lors d'épreuves nationales et internationales (de 90 à 160 km). C'est précisément la caractérisation de cette dynamique selon le niveau d'expertise qui fera l'objet de cette étude. Le développement récent de capteurs 3D embarqués rend possible l'analyse de la cinématique du couple cavalier-cheval en situation de compétition.

Dans la littérature, la fatigue associée à des exercices prolongés de locomotion est largement décrite chez le cheval au niveau des désordres acido-basiques, hydriques et électrolytiques (e.g. Viu *et al.*, 2010) du stress oxydant et de possibles dommages musculaires (Hargreaves *et al.*, 2002). La fatigue associée aux exercices de longue durée est démontrée par ailleurs, chez le cheval (Assenza *et al.*, 2004) et chez l'homme (Taylor *et al.*, 2008), comme pouvant résulter d'interactions complexes entre des facteurs de fatigue centraux et périphériques. Au regard de ces travaux, la réussite aux épreuves d'endurance à cheval dépendrait en grande partie de la capacité du cavalier à gérer la fatigue du cheval autant que la sienne. Il doit préserver la qualité du couplage cavalier-cheval tout au long de l'épreuve.

Les données de la littérature propres au couplage cavalier-cheval restent toutefois limitées et sont essentiellement décrites en l'absence de fatigue, majoritairement sur tapis roulant et sur la base d'enregistrements cinématiques obtenus par analyse vidéo de marqueurs placés sur le cheval (e.g. Licka *et al.*, 2004 ; Peham *et al.*, 2010). L'étude de Lagarde *et al.* (2005), qui comprend une analyse cinématique parallèle du cheval et du cavalier, souligne l'influence du niveau d'expertise du cavalier sur la stabilité spatio-temporelle du couple cavalier-cheval.

Toutefois l'analyse cinématique, pour précise qu'elle soit, présente l'inconvénient d'une distance d'enregistrement limitée à une dizaine de mètres. Le nombre de foulées examinées ne constitue pas nécessairement un échantillon représentatif d'une condition donnée telle qu'une compétition d'endurance. L'analyse de la fatigue se limite dès lors à la comparaison de courtes séquences d'enregistrement pré- et post-exercice (Muñoz *et al.*, 2006). Nos récents travaux réalisés sur l'homme soulignent les limites des comparaisons dites « pré-post fatigue » en démontrant la pertinence du suivi en continu sur de longues durées d'effort (Morio *et al.*, 2011).

Grâce au développement des technologies embarquées (Barrey *et al.*, 1995), il devient possible d'enregistrer en continu et en conditions naturelles d'entraînement comme de course, le profil locomoteur du cheval. En situation de compétition, cela devrait nous permettre de palier aux limites des comparaisons pré-post fatigue en distinguant les effets respectifs de l'expertise et de la fatigue sur le patron locomoteur du cheval. Le même type d'appareil étant utilisé pour analyser la locomotion humaine (Le Bris *et al.*, 2006), leur utilisation synchronisée donnera accès au suivi du couplage cavalier-cheval. Pour approfondir l'étude de ce couplage, nous nous proposons d'utiliser une approche par les systèmes dynamiques non linéaires et les théories de la complexité qui considèrent le comportement comme le produit des « coordinations émergentes entre les différents systèmes fonctionnels de l'organisme et entre l'organisme et l'environnement » (Kelso, 1995).

Dans cette perspective, cette étude préliminaire se centre sur le couple cavalier-cheval en situation réelle de compétition d'endurance. Nous émettons deux hypothèses. La première selon laquelle le couplage cavalier-cheval représenterait la 'signature' du couple à une allure et à un niveau d'expertise donnés. La seconde suggère que les écarts à cette forme favoriseraient la détection précoce d'une dégradation de la coordination due à des états de fatigue du cheval et/ou du cavalier.

1. Matériels et méthodes

1.1. Caractéristiques des épreuves et couples cavalier-cheval.

Pour cette étude pilote, 2 couples experts (E1 et E2) et 2 couples confirmés (C1 et C2) dont les caractéristiques démographiques et anthropométriques sont indiquées dans le tableau 1 ont été enregistrés lors d'épreuves d'endurance qui différaient entre elles en durée (90 vs. 120 ou 130km) autant qu'en modalité de vitesse (limitée à 16 km/h vs. libre). Les couples dits experts ont une pratique compétitive de haut niveau (épreuves nationales et internationales) depuis plus de 5 ans et/ou obtenu cinq 'podiums' (place 1 à 3) au cours deux années qui précèdent l'enregistrement des données. Les couples sont dits confirmés lorsqu'ils n'ont pas effectué plus de cinq compétitions dans le niveau étudié. Les experts ont obtenu. On considère également par défaut, qu'il existe une bonne corrélation entre l'expertise des cavaliers et celle des chevaux, aucun des deux cavaliers confirmés n'ayant réalisé de 'podium' au cours des saisons de compétition précédentes.

Tableau 1 : Caractéristiques des épreuves et des couples cavalier-cheval étudiés.
Table 1: Characteristics of the studied endurance events and rider-horse couples.

Epreuve Durée (vitesse)	Couple Niveau	Cavalier				Cheval			
		sexe	âge (ans)	poids (kg)	taille (cm)	sexe	âge (ans)	poids (kg)	taille (cm)
130 km (V. libre)	Expert E1	F	27	50	163	H	10	320	150
90 km (< 16km/h)	Expert E2	F	31	53	158	H	6	530	160
120 km (V. libre)	Confirmé C1	M	58	78	180	H	9	450	157
90 km (< 16km/h)	Confirmé C2	F	21	57	163	H	6	410	155

V. libre (vitesse libre), M (masculin), F (féminin), H (Hongre).
V. libre (free velocity), M (male), F (female), H (Gelding).

1.2. Enregistrements des données

Les données d'accélérométrie 3D du cheval et du cavalier ont été enregistrées pour chacune des boucles des épreuves d'endurance. L'enregistrement est effectué en continu à une fréquence d'acquisition de 100 Hz au moyen d'appareils de type Equimetrix (INRA, SGQA, France) pour le cheval (Barrey et al., 1994) et de type Locometrix (Centaure Metrix, France) pour le cavalier. Ces accéléromètres sont respectivement placés à proximité du centre de masse de leur porteur: pour le cheval, au niveau du passage de sangle à l'aide d'une sangle modifiée pour recevoir l'appareil et, pour le cavalier, au niveau lombaire à l'aide d'une ceinture placée autour de la taille. La synchronisation des données cavalier/cheval est obtenue par un choc entre les deux accéléromètres au début de chaque enregistrement.

1.3. Analyses des données

Les analyses portent sur (a) la vitesse moyenne par boucle, (b) la proportion des allures observées (trot vs. galop) au cours de l'épreuve (c) les variables dynamiques de la locomotion du cheval et (d) l'analyse de la synchronisation ou couplage cavalier/cheval.

a. La vitesse moyenne par boucle

Celle-ci est calculée sur la base de la distance et du chronométrage officiellement fournis par le comité d'organisation des épreuves.

b. La proportion des allures observées (trot vs. galop)

Un programme développé sous Matlab 7 (Mathworks Inc) nous permet de quantifier le pourcentage de temps réalisé à chacune des allures lors des boucles successives de chaque course. Les allures du cheval (trot et galop) sont en effet détectées grâce aux accélérations dorso-ventrales du cheval, ce qui permet d'obtenir pour chaque boucle l'ensemble des foulées de trot et de galop, le pas et les pauses étant exclus. Les foulées de transition d'allure sont également exclues. L'obtention du rapport de temps galop/trot ainsi que le pourcentage de temps à chaque allure est alors calculé pour chaque boucle.

c. Les variables cinétiques et cinématiques de la locomotion du cheval

Une sélection de 5 échantillons de 20s (2048 points) est réalisée pour chaque boucle avec le logiciel Equimetrix. Ces échantillons correspondent respectivement à la 5^{ème} et la 20^{ème} minute, pour caractériser le début de la boucle et le couple potentiellement optimisé après 20 min de course, ainsi que les 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} tiers de chaque boucle. Pour chacun de ces échantillons, le logiciel nous permet également d'obtenir les fréquences de foulées, ainsi que des indices de régularité et de symétrie de la locomotion du cheval (Barrey et al. 1999). La fréquence moyenne des foulées est ainsi obtenue par une analyse fréquentielle des accélérations dorso-ventrales, le premier pic correspondant à la fréquence des demi-foulées au trot ou des foulées au galop. La fréquence de la foulée de trot est déduite en divisant la fréquence de la première harmonique par deux. Les indices de symétrie et de régularité sont obtenus en appliquant la fonction d'auto-corrélation à chaque échantillon dont les pics reflètent les similitudes de la courbe par rapport à elle-même au cours du temps. La foulée de trot comprenant deux mouvements dorso-ventraux similaires, les deux premiers pics correspondent respectivement à la similitude des demi-foulées entre elles (symétrie) et à celles des foulées entre elles (régularité). Ces variables sont exprimées en unités arbitraires (u.a) sur une échelle allant de 0 à 350 (valeurs minimale et maximale de symétrie) et de 0 à 450 pour la régularité.

d. Le couplage cavalier/cheval

Cette analyse repose sur les signaux synchronisés issus des deux accéléromètres. Pour cela on repère *a posteriori* le signal produit par le choc entre les deux capteurs avant le départ de la course. Par échantillon de 20 sec à une allure donnée, les déplacements respectifs du cheval et du cavalier sont obtenus selon les 3 axes (vertical, médio-latéral et antéro-postérieur) par double intégration du signal et filtrage des fréquences non significatives ($f > 12.5\text{Hz}$) des données d'accélération. Comme l'illustre la figure I B pour l'axe vertical, les déplacements ainsi obtenus sont alors moyennés par échantillon. Les relations spatio-temporelles de la synchronisation cavalier-cheval (ou couplage) sont exprimées par une figure simple (figure de Lissajous). Cette forme est propre à un couple et à une allure (figure I C) donnés. Pour les trois axes considérés, on obtient ainsi la 'signature' de chacun des couples. Ce sont ces formes qui font l'objet de l'analyse. Une fois la signature caractérisée par sa forme générale et ses points remarquables, tels que les minima et maxima selon les deux axes et les points de rebroussement (figure I C), la variabilité des déplacements respectifs du cavalier et du cheval est calculée en ces différents points pour l'ensemble des cinq échantillons de chaque boucle (figure I D).

2. Résultats

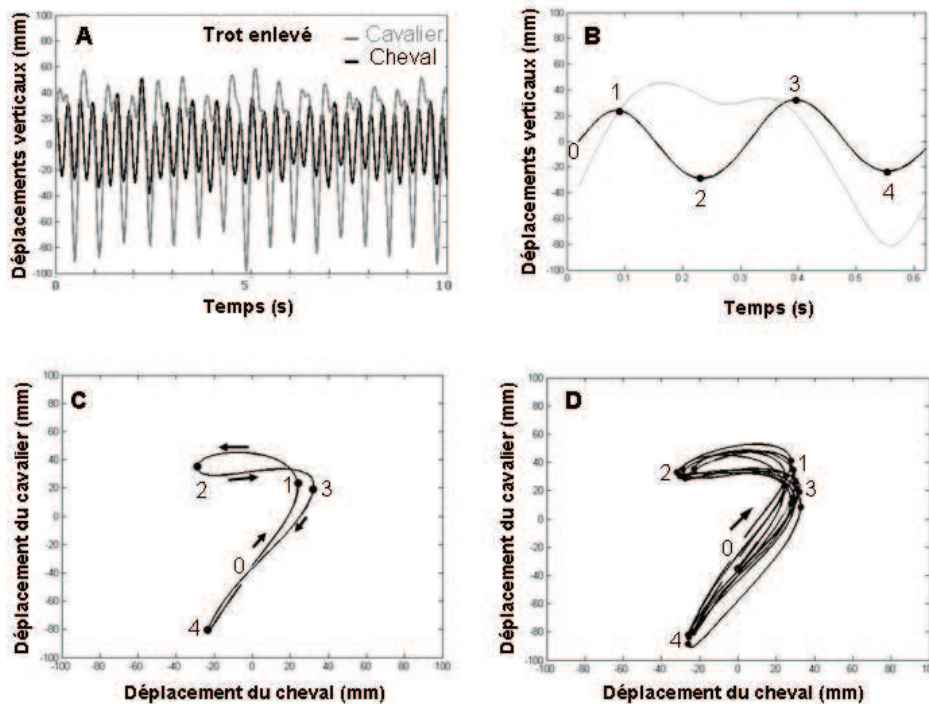
2.1. Caractéristiques des courses

Les quatre couples ont terminé leur course sans être éliminés au cours des contrôles vétérinaires auxquels sont soumis les chevaux à la fin de chaque étape. On observe sur la figure II A des profils de vitesse différenciés selon le niveau d'expertise et la distance de course. Il ressort que, quelle que soit la distance de course, la 2^{ème} boucle (B2) s'effectue pour tous les couples à une vitesse moyenne supérieure à celle de la 1^{ère} boucle. Sur 120 km, l'expert et le confirmé se distinguent (i) par leur vitesse moyenne et (ii) par la franche différence de capacité à augmenter la vitesse moyenne sur la dernière boucle au bénéfice du sujet expert. Les pourcentages de galop observés sur la figure II B confirment que cette allure conduit au gain moyen de vitesse constaté à la 2^{ème} boucle. Une nette influence du niveau d'expertise est à nouveau observable sur le pourcentage de galop entre E1 et C1. Le cavalier C1 semble avoir mal géré le pourcentage de galop en B2 (30%), ce qui se solde par une absence de galop aux boucles 3 et 4, probablement dû à la fatigue du cheval. Concernant l'épreuve de 90 km, les différences observées montrent à l'évidence une aptitude au galop pour le cheval du cavalier C2 par rapport à celui du cavalier E2. Pour les seuls couples experts, et indépendamment de la durée et de la condition de course (vitesse libre ou imposée), la vitesse de course est positivement corrélée ($p < 0,001$) au pourcentage de galop (figure III).

Figure I: Le couplage cavalier-cheval. Les figures IA, B, C et D illustrent pour un couple expert, au trot enlevé, la démarche retenue pour établir et analyser la 'signature' de leur couplage sur une boucle de l'épreuve. Ces figures portent sur les déplacements verticaux. A. Déplacements verticaux respectifs du cavalier et du cheval sur un échantillon de 20s (raccourci ici à 10s par souci de clarté). B. Cycles moyens du cavalier et du cheval pour cet échantillon. C. La 'signature' observée reflète la combinaison des déplacements verticaux respectifs des capteurs cavalier et cheval. Le point 0 indique le début du cycle (position verticale moyenne du cheval). Les vecteurs indiquent le sens du cycle. Les points remarquables choisis (1 et 3) correspondent aux maxima d'amplitude des déplacements du cheval, les points (2 et 4) à leurs minima.

D. Cette figure montre cinq signatures superposées qui reflètent la variabilité des échantillons retenus pour cette boucle.

Figure I: The rider-horse couple. Figures IA, B, C and D are presenting for an expert couple at rising trot the procedure used to define and analyze per race loop the 'signature' of their coupling. These figures are dealing with the vertical displacements; both medio-lateral and antero-posterior ones being examined as well. A. Rider and horse displacements recorded along the vertical axis for a 20s sample duration (here reduced to 10s for clarification). B. Corresponding sample-averaged rider and horse cycles. C. The observed 'signature' expresses the combination of the vertical displacements of the rider and horse captors. The 0 point marks the beginning of the trot cycle (mean vertical horse position). The vectors are indicating the cycle direction. Specific points (1 & 3) and (2 & 4) have been chosen that correspond to the maxima and minima of the vertical horse displacements, respectively. D. This figure shows in a superposed way 5 signatures reflecting the variability of the samples kept for this race loop.



2.2. Variabilité des phases de galop et de trot enlevé

2.2.1. Fréquence et régularité moyennes

Tous couples confondus, les valeurs moyennes de fréquence pour les allures de galop et de trot enlevé sont respectivement de $1,84 \pm 0,04$ et $1,55 \pm 0,04$ Hz. Ainsi les deux allures utilisées lors de ces épreuves se font à des fréquences différentes. De façon plus qualitative on observe que C2 galope à une fréquence plus faible que la moyenne observée ($1,79 \pm 0,03$ Hz) (figure IV A). Par ailleurs l'augmentation de vitesse observée chez E1 lors de la dernière boucle est associée à une augmentation du pourcentage et de la fréquence de galop (figures II A et IV A). Concernant l'allure de trot enlevé, E2 et C2 présentent une fréquence plus faible que E1 et C1 ($1,51 \pm 0,04$ contre $1,59 \pm 0,02$ Hz en moyenne). Par ailleurs la fréquence de trot enlevé chute pour E1 et C1 lors de la 4^{ème} boucle. La régularité moyenne (en unités arbitraires, voir méthode) est de 125 ± 23 et 290 ± 6 respectivement pour les allures de galop et de trot enlevé. Enfin, pour la symétrie à l'allure de trot enlevé on obtient une moyenne de 247 ± 42 . Comme le montre la figure IV B, seule la fréquence moyenne du trot enlevé semble être influencée par la condition de course; l'épreuve de 90 km à vitesse imposée se caractérisant au trot enlevé par une fréquence plus basse chez les couples expert (E2) et confirmé (C2) sans que la régularité en soit affectée (figure IV D). Le rapprochement des valeurs de fréquence moyenne du trot enlevé (figure IV B) observé entre les différentes épreuves à partir de la 3^{ème} boucle pourrait être associé aux effets de la fatigue.

Figure II: Evolution pour chacun des couples experts (E1 & E2) et confirmés (C1 & C2) de leurs vitesse moyenne (A) et pourcentage de galop (B) au cours des 3 (E2 et C2) à 4 boucles (E1 et C1) des épreuves.
 Figure II: Evolution for each of the expert (E1 & E2) and confirmed (C1 & C2) couples of their mean velocity (A) and percentage of gallop (B) along the 3 (E2 et C2) to 4 (E1 et C1) loops of the races.

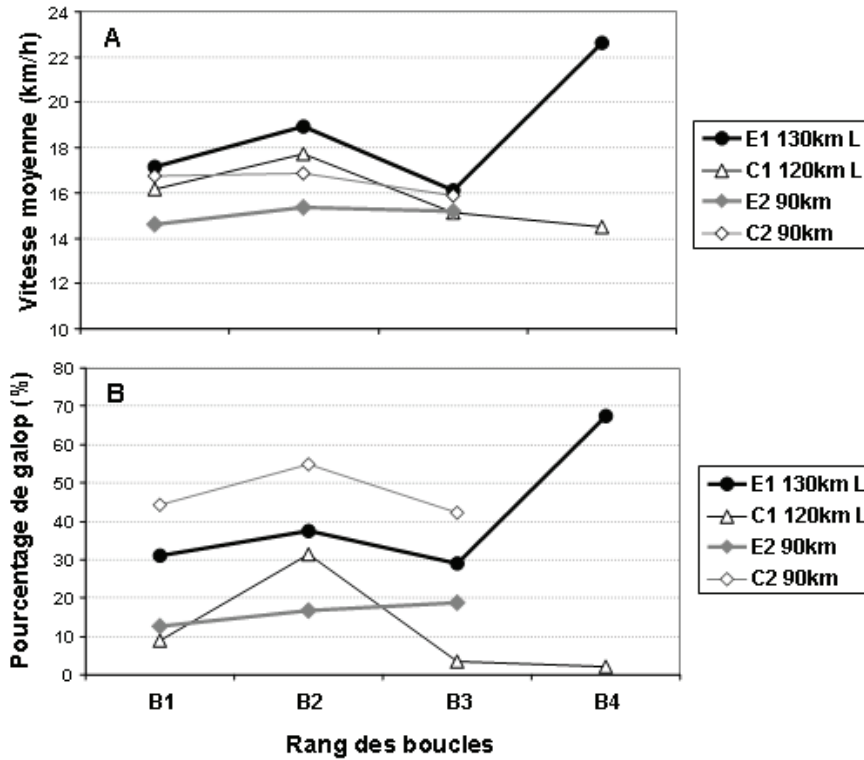
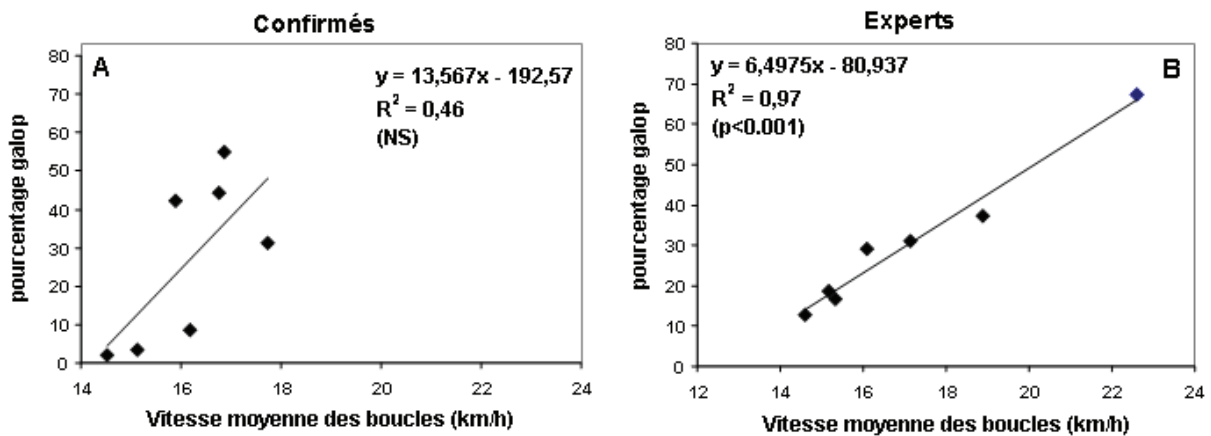


Figure III : Corrélation entre vitesse moyenne et pourcentage de galop aux différentes boucles de l'épreuve : la corrélation est positive et significative ($p < 0,001$) pour les seuls couples experts (B).
 Figure III: Correlation between the mean velocity and gallop percentage at the different race loops: the correlation is significant and positive ($p < 0,001$) for the sole expert couples (B).

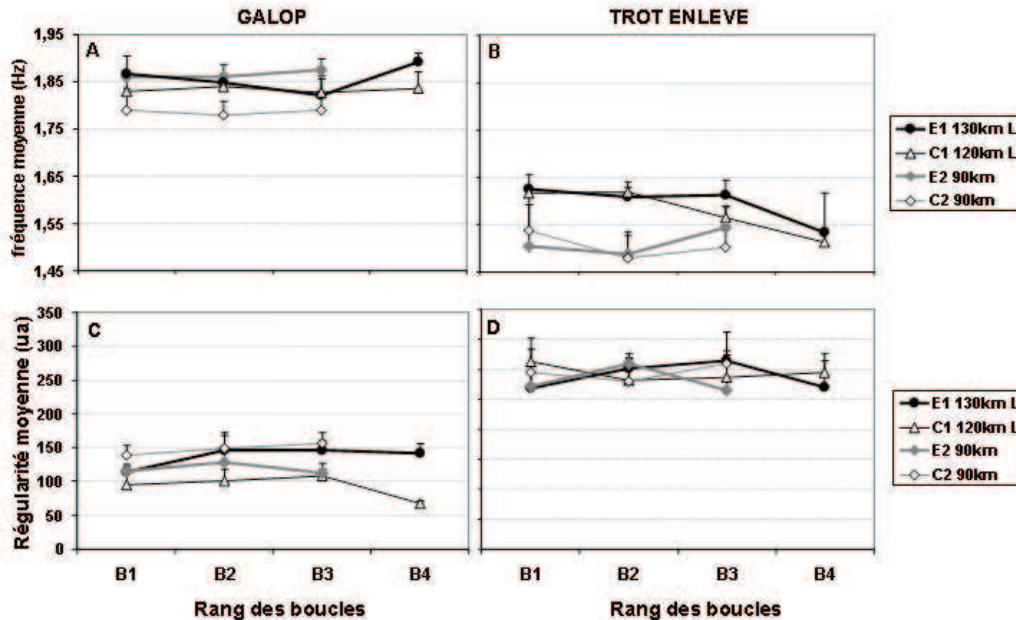


2.2.2. Signatures au trot et au galop

Nous avons choisi de ne présenter dans cette étude que les données relatives aux déplacements verticaux du cavalier et du cheval. Le déplacement vertical se caractérise au trot enlevé (figure V A) comme au galop (figure V B) par des formes remarquables (figure de Lissajous) de couplage cavalier-cheval. Ces formes sont reproductibles et présentent une bonne stabilité relative pour les différents échantillons de chaque sujet pour chacune des boucles. Ceci nous permet de choisir des points remarquables (cf. figure I) et de quantifier leur variabilité.

Figure IV : Evolution de la fréquence (figs. A et B) et de la régularité (figs. C et D) moyennes (+ écart-type) de chacun des couples experts (E1 et E2) et confirmés (C1 et C2) aux allures de galop (colonne de gauche) ou de trot enlevé (colonne de droite) au cours des boucles successives des épreuves.

Figure IV: Evolution along the race loops, and for each of the expert (E1 and E2) and confirmed (C1 and C2) couples, of the mean (+ sd) frequency (figs. A and B) and regularity (figs. C and D) values at the gallop (left column) and rising trot (right column).



Qualitativement le premier résultat qui ressort de ces formes ou signatures est que ces dernières sont propres aux allures de trot et de galop. Pour le trot (figure V A) on observe des différences entre les cavaliers et une évolution de ces formes au cours de l'épreuve. Cependant ces évolutions sont différenciées : par exemple, pour C1 la forme va perdre de sa 'rondeur' comparée à celle de E2 qui semblerait évoluer dans le sens inverse. Concernant le galop (figure V B) des formes semblent apparaître : 'ovoïde' pour E1, 'rectiligne' pour C1 (cavalier et cheval en phase), en 'haricot' pour E2. Par ailleurs, le sens de rotation (horaire ou anti-horaire) de ces signatures semble refléter respectivement que le cavalier est en avance ou en retard par rapport au cheval dans l'atteinte des points haut et bas de leur déplacement vertical. Cela est illustré sur la figure V B pour le cavalier E2 qui est ainsi systématiquement en avance sur sa monture à la phase de descente à la boucle B2, alors qu'il est toujours en retard à la montée comme à la descente à la dernière boucle B3. Des traitements quantitatifs et statistiques complémentaires seront réalisés sur un plus grand nombre de couples.

Quantitativement le niveau d'expertise et la distance de course n'ont pas d'effet au trot enlevé (figure VI) sur l'amplitude des déplacements verticaux du cavalier des couples experts (E1 et E2) et confirmés (C1 et C2) aux 4 points remarquables du cycle. Des différences intra-individuelles apparaissent toutefois entre les boucles. Dans cette situation naturelle de compétition, cela pourrait refléter l'influence potentielle de la fatigue autant qu'un changement de stratégie de course (ex : vitesse accrue de E1 en fin de course).

3. Discussion

Cette étude pilote représente les premiers résultats d'observations et d'analyses de la biomécanique du couple cavalier-cheval en situation de compétition d'endurance. Les capteurs (accéléromètres 3D embarqués) placés sur le cheval et sur le cavalier nous informent sur les propriétés de la locomotion du cheval et sur le comportement du cavalier qui 'couple' son effort à celui du cheval dans l'intention de ne pas perturber les efforts de sa monture et, si possible, d'aider au contraire son déplacement en adoptant une dynamique qui favorise la mise en œuvre des forces de propulsion par le système ou couple cavalier-cheval.

Nos premiers résultats –qui ne peuvent être généralisés du fait des effectifs étudiés– montrent que la vitesse moyenne est évidemment une variable qui différencie les cavaliers selon leur niveau d'expertise. Par ailleurs cette vitesse semble assez directement liée à la capacité à produire et maintenir une allure de galop dans une proportion de temps supérieure à celle observée à une allure de trot. Ainsi une corrélation positive entre vitesse moyenne et pourcentage de galop est observée chez les sujets experts.

Figure V : Signatures reflétant la forme du couplage des déplacements verticaux du cheval (en abscisse) et du cavalier (en ordonnée) au trot enlevé (A) et au galop (B) pour chacun des couples experts (E1 & E2) et confirmés (C1 & C2) et sur chacune des boucles des épreuves. Plus la signature est rectiligne plus le couple est « en phase ». En cas de déphasage, le sens de la rotation horaire ou anti-horaire de la signature (reflété à chaque boucle par une flèche pour le sujet E2 au galop) reflète respectivement l'avance ou le retard du cavalier sur sa monture en fin de montée et de descente. On note ainsi une inversion de sens pour E2 à la dernière boucle.

Figure V: Signatures reflecting the shape of the coupling between the vertical displacements of the horse (horizontal axis) and rider (vertical axis) at rising trot (A) and gallop (B) for each of the expert (E1 & E2) and confirmed (C1 & C2) couples and for each of the event loops. The more a given signature is linear the more the couple is "in phase". In case of a phase shift, the signature presents either a clockwise or counter clockwise direction of rotation (see subject E2 at gallop), which reflects the rider's advance or delay, respectively, relative to his horse during the upwards and downwards movement phases. This reveals for subject E2 a reversal of direction at the last loop.

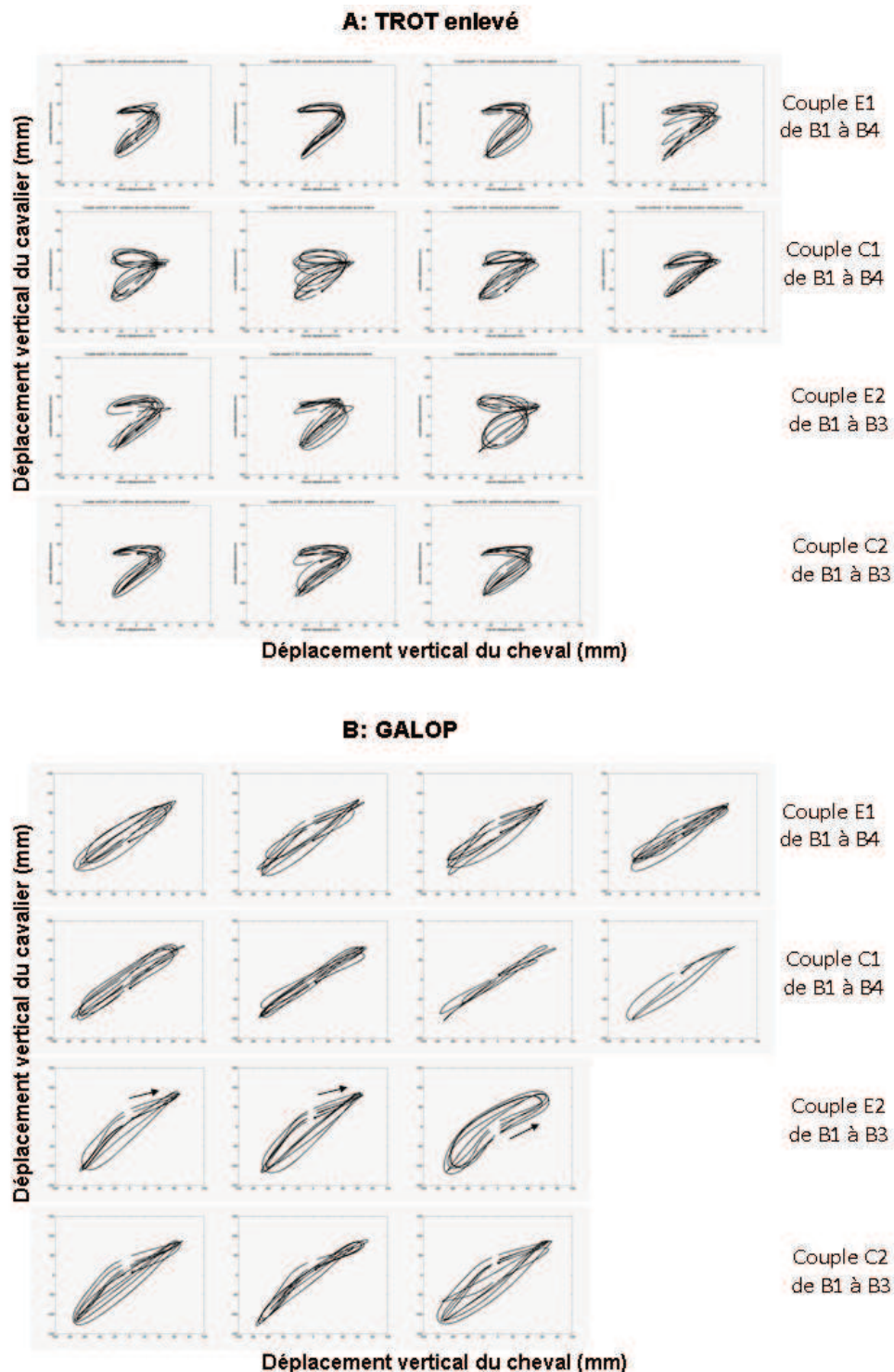
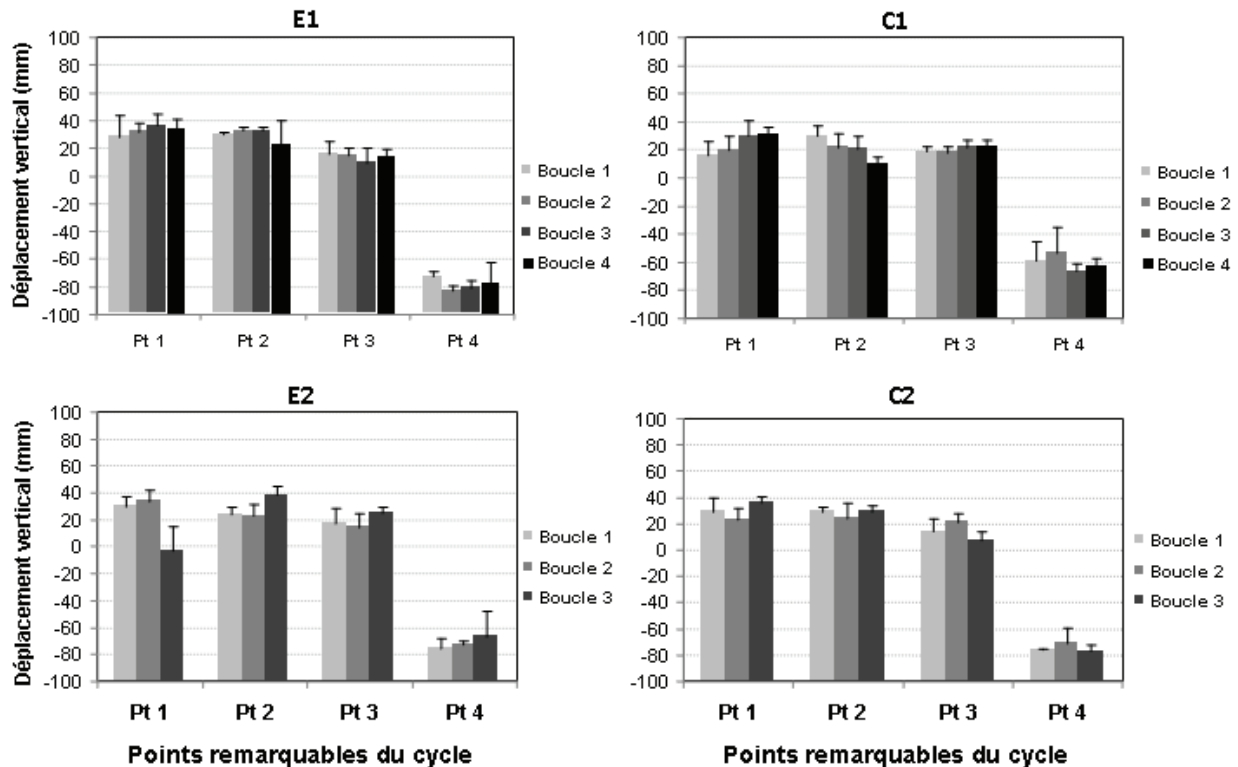


Figure VI : Déplacements verticaux moyens (+ écart-type) du cavalier des couples experts (E1 et E2) et confirmés (C1 et C2) aux 4 points remarquables du cycle au trot enlevé.
 Figure VI: Mean (+ sd) vertical displacement of the rider of the expert (E1 et E2) and confirmed (C1 et C2) couples at the 4 remarkable points of the cycle at rising trot.



Le paramètre fréquence semble dépendre de variables propres au cheval mais on observe néanmoins des différences en fonction des allures mais également des effets au cours de l'épreuve. L'expertise est associée à la capacité à accroître sa vitesse lors de la dernière boucle ce qui est obtenu par une augmentation de la fréquence de galop.

Les premières observations des formes produites lors de l'étude du couplage cavalier-cheval montrent des signatures très typiques en fonction des allures. L'hypothèse selon laquelle il existerait une signature propre à un couple donné reste à confirmer sur un plus grand nombre de sujets. Nos premiers résultats présentés ici ont porté sur le couplage selon l'axe vertical. Il reste à investiguer les dimensions antéro-postérieures et médio-latérales pour lesquelles nos sondages ont également montré un effet lié à l'expertise.

Ces caractérisations de la locomotion du couple cavalier-cheval en situation de compétition dans le contexte de la modélisation des systèmes complexes (Kelso, 1995) doivent nous permettre d'aborder l'extrême complexité des interactions entre le cavalier et le cheval dans un contexte théorique renouvelé. Ces interactions s'expriment sous forme géométrique. Une fois ces formes mieux connues et quantifiées, elles peuvent jouer le rôle d'un référentiel et tous les écarts à ce référentiel sont alors exprimés en termes d'effet de fatigue ou bien de détection d'une anomalie dans la locomotion. On voit les bénéfices qui pourraient être tirés de ce type d'approche pour tout ce qui est optimisation de la performance en endurance –mieux gérer son effort et protéger sa monture- mais aussi détection des boiteries précoces par exemple. A moyen terme ce travail vise à développer une selle instrumentée pouvant délivrer, par feedback continu au cavalier, des informations qualitatives sur la locomotion du cheval et sur la qualité de leur couplage.

Références

- Assenza A, Bergero D, Tarantola M, Piccione G, Caola G. 2004. Blood serum branched chain amino acids and tryptophan modifications in horses competing in long-distance rides of different length. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 88(3-4):172-7.
- Barrey, E. 1999. Methods, applications and limitations of gait analysis in horses. *Vet J*, 157, 7-22.

- De Cocq P, Duncker AM, Clayton HM, Bobbert MF, Muller M, van Leeuwen JL. 2010. Vertical forces on the horse's back in sitting and rising trot. *J Biomech*, 43(4):627-31.
- Hargreaves BJ, Kronfeld DS, Waldron JN, Lopes MA, Gay LS, Saker KE, Cooper WL, Sklan DJ, Harris PA. 2002. Antioxidant status and muscle cell leakage during endurance exercise. *Equine Vet J Suppl.* 34:116-21.
- Kelso JAS. 1995. *The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, MA: MIT Press; Dynamic patterns.
- Lagarde J, Kelso JA, Peham C, Licka T. 2005. Coordination dynamics of the horse-rider system. *J Mot Behav.* 37(6):418-24.
- Laurent M, Dinh Phung R, Ripoll H. 1989. What visual information is used by riders in jumping. *Hum Mov Sci.* 8: 481-501
- Le Bris R, Billat V, Auvinet B, Chaleil D, Hamard L, Barrey E. 2006. Effect of fatigue on stride pattern continuously measured by an accelerometric gait recorder in middle distance runners. *J Sports Med Phys Fitness.* 46(2):227-31.
- Licka T, Kapaun M, Peham C. 2004. Influence of rider on lameness in trotting horses. *Equine Vet J.* 36(8):734-6.
- Morio C, Chavet P, Androuet P, Foissac M, Berton E, Nicol C. 2011. Time course of neuro-mechanical changes underlying stretch-shortening cycle during intermittent exhaustive rebound exercise. *Eur J Appl Physiol.* 111(9):2295-305.
- Muñoz A, Cuesta I, Riber C, Gatas J, Trigo P, Castejons FM. 2006. Trot asymmetry in relation to physical performance and metabolism in equine endurance rides. *Equine vet J. Suppl.* 36:50-54.
- Munsters CC, Visser KE, van den Broek J, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM. 2011. The influence of challenging objects and horse-rider matching on heart rate, heart rate variability and behavioural score in riding horses. *Vet J. (In Press)*
- Nagy A., Murray J. K., Dyson S. 2010. Elimination from elite endurance rides in nine countries: A preliminary study. *Equine vet. J. Suppl.* 38:637-643
- Peham C, Licka T, Schobesberger H, Meschan E. 2004. Influence of the rider on the variability of the equine gait. *Hum Mov Sci.* 23(5):663-71.
- Schöllhorn WI, Peham C, Licka T, Scheidl M. 2006. A pattern recognition approach for the quantification of horse and rider interactions. *Equine Vet J Suppl.* 36: 400-5.
- Taylor J, Komi PV, Nicol C. 2008. Central and Neuromuscular fatigue. In: Nigel Taylor, H. Groeller and PL McLennan (Eds.) *Physiological Bases of Human Performance during Work and Exercise*. Churchill Livingstone, Section 1, Chap.5, pp. 91-113.
- Viu J, Jose-Cunilleras E, Armengou L, Cesarini C, Tarancón I, Rios J, Monreal L. 2010. Acid-base imbalances during a 120 km endurance race compared by traditional and simplified strong ion difference methods. *Equine Vet J. Suppl.* 38:76-82.