

COMMENT LE CHEVAL PREND-T-IL SON APPEL ?

ORANGE F., BLANCHARD G., BARREY E.

INRA, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, Groupe Cheval, 78352 Jouy-en-Josas.

Chaque week-end des milliers de chevaux sautent en concours hippique. Mais sait-on précisément comment ils sautent ? Autrement dit, quelle est la mécanique de l'appel ? La multiplicité des théories de l'abord actuellement enseignées est la preuve d'une certaine ignorance sur ce point délicat de la locomotion du cheval. Pour répondre à cette question de manière chiffrée, une équipe vient d'achever un important travail d'analyse des foulées d'appel et de saut. Les résultats permettent d'expliquer le mécanisme du saut et montrent comment évolue la technique de saut du jeune cheval au cheval de Grand Prix.

Sur le plan biomécanique, il faut savoir que la trajectoire générale du cheval est entièrement déterminée dès l'instant où le dernier sabot du cheval a quitté le sol. La réussite du saut se joue donc en grande partie à l'appel. Pendant le saut, seule la vitesse de basculement au-dessus des barres peut changer en fonction des attitudes du cheval. La trajectoire de l'extrémité de ses membres influence bien entendu le risque de toucher une barre mais ne modifie pas la vitesse de basculement de son corps, lancé sur une trajectoire fixée. Ces notions de dynamiques appliquées au cheval indiquent qualitativement combien la dernière foulée est importante pour la réussite du saut.

Sur le plan équestre, une meilleure connaissance de la locomotion est nécessaire pour avoir des aides efficaces et connaître leurs limites. Les théories sur l'abord en foulées croissantes, décroissantes ou constantes se contredisent et méritent d'être précisées. Ces qualificatifs caractérisent-ils la longueur ou la fréquence des

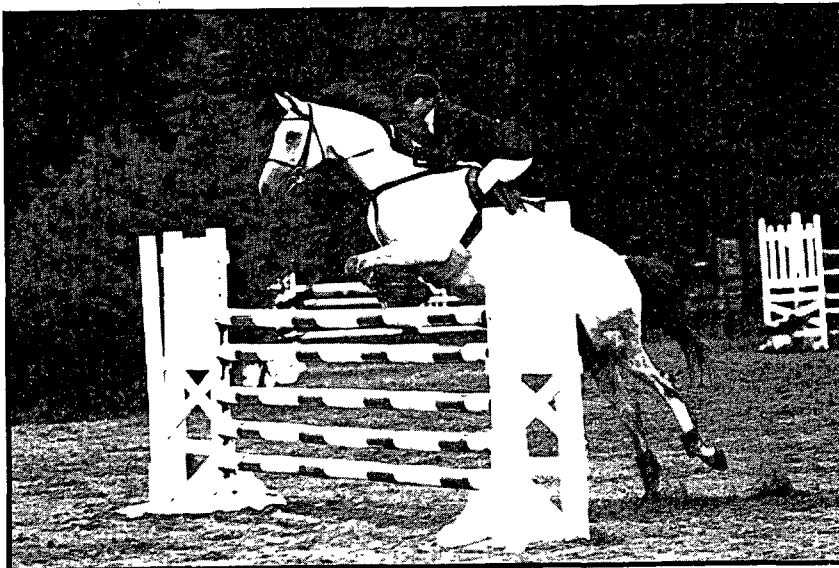
foulées ? En effet, ces deux composantes de la foulée sont indépendantes et n'ont pas du tout les mêmes influences sur la dynamique de la locomotion.

Sur le plan de la sélection des jeunes chevaux, la détermination des mécanismes-clés de l'aptitude au saut

détailler l'appel du saut. De manière plus précise, le protocole expérimental choisi visait à comparer les caractéristiques (durée, longueur et vitesse) des foulées de l'abord et du saut selon le niveau des chevaux.

Les chevaux et les épreuves

Dans le souci de respecter à la fois une unité de lieu et de temps, tous les chevaux étudiés ont été filmés dans les mêmes conditions de compétition lors du concours hippique national 1 open de Saint-Sauveur-en-Puisaye (Yonne) des 11 et 12 août 1990. Il s'agissait des concurrents de trois épreuves distinctes par la difficulté du parcours (Tableau I) : Cycle libre première année, A3 et A1. Ce choix permettait d'obtenir des informations concernant des chevaux de plusieurs classes d'âge, de sexe, de race et de niveau. Ceux du cycle libre étaient des jeunes chevaux en première année de compétition, ceux des épreuves A3 et A1 étaient plus expérimentés, soit d'un niveau



Une barre n'est pas le fruit du hasard ou de la malchance, c'est au contraire le résultat d'un déterminisme biomécanique assez précis. Dès le frapper des antérieurs à l'appel, une bonne partie de la trajectoire du saut est déjà déterminée par la mécanique et lorsque les postérieurs ont quitté le sol, tout est joué.

permettra de détecter les meilleurs ou peut-être les moins bons, d'après la mesure d'un paramètre de l'appel.

L'étude que nous avons menée avait donc pour objectif général de mieux comprendre la mécanique du saut chez le cheval et notamment de

permettra de détecter les meilleurs ou peut-être les moins bons, d'après la mesure d'un paramètre de l'appel.

L'appel et le saut

Tableau I : Caractéristiques des obstacles selon l'épreuve.

	Cotes réglementaires			Obstacles filmés	
	Vertical Hauteur en cm	Oxer Hauteur en cm	Largeur en cm	Vertical Hauteur en cm	N° (nb total)
CL "jeunes chevaux"	115	110-120	120-140	105	4 (9)
Epreuve A3	125-130	120-125	140-160	125	5 (10)
A1 "grand prix"	140-160	135-150	150-180	140	2 (13)

moyen (A3), soit d'un haut niveau (A1).

Sur les 100 parcours filmés, seuls 75 ont pu être utilisés lors de l'étude statistique, se répartissant de la manière suivante :

- 19 chevaux pour le cycle libre ;
- 29 chevaux pour l'épreuve A3 ;
- 27 chevaux pour l'épreuve A1.

Les mesures

L'Encadré 1 expose le protocole expérimental qui a permis de mesurer 18 paramètres des foulées de l'abord et du saut d'après le film vidéo. La définition de ces paramètres est illustrée par la Figure 1.

Rappelons que la vitesse de déplacement du cheval (V) est égal au produit de la longueur (LF) par la fréquence de la foulée (FF) :

$$V = LF \times FF$$

ou encore au rapport de la longueur (LF) par la durée de la foulée (DF) :

$$V = LF / DF$$

La longueur de la foulée correspond à la distance qui sépare deux traces consécutives du même sabot tandis que la durée de la foulée correspond à l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux posers successifs du même sabot (dans notre cas le dernier postérieur à quitter le sol à l'appel).

RESULTATS

Les résultats descriptifs et les paramètres des foulées différents selon les niveaux des chevaux sont indiqués dans le tableau II. Le niveau de l'épreuve influence essentiellement les longueurs et les vitesses des foulées d'abord et de saut. La Figure 2 présente les principaux résultats de manière synthétique. En moyenne, les jeunes chevaux (CL) abordent l'obstacle plus vite et font un saut plus long bien que la hauteur à franchir soit plus faible. Les chevaux de plus haut niveau (A3 et A1) abordent l'obstacle plus lentement et s'approchent davantage du pied de

Encadré 1: le protocole expérimental

Pour chaque épreuve, un obstacle vertical situé dans une ligne ou une diagonale a été choisi, de manière à ce que les chevaux des trois épreuves se trouvent dans des conditions de saut similaires. La caméra était, pour chaque épreuve, fixée sur un pied de 1,30 m du sol et à 30 m du milieu de l'obstacle comme l'indique la Figure 1. Cette distance est suffisante pour limiter les incertitudes de mesures liées à la parallaxe. Le champ de la caméra vidéo 8 mm couvrait de cette manière les deux foulées qui précèdent la foulée de saut.

Le film a été analysé image par image à l'aide d'un moniteur et du caméscope utilisé pour filmer. Les paramè-

tres relevés décrivent les deux foulées d'abord et la foulée de saut, chacune étant définie comme l'ensemble des mouvements du cheval entre deux posers successifs du même sabot postérieur. La lecture image par image a permis de mesurer des durées et des distances caractéristiques des foulées :

- par comptage du nombre d'images (0,04 s) par foulée pour calculer la durée des foulées d'abord 2 (DF2), d'abord 1 (DF1) et de saut (DS).

- par repérage manuel sur un transparent appliqué sur l'écran pour calculer la longueur des foulées d'abord 2 (LF2), d'abord 1 (LF1), de saut (LS) et la longueur d'appel avant l'obstacle (LAO).

Cette méthode d'analyse implique des incertitudes de mesure qui atteignent au maximum 5 % pour les longueurs et 10 % pour les durées.

D'autres paramètres ont été calculés à partir des mesures précédentes :

- les vitesses des foulées d'abord 2 et 1 et de saut, respectivement V2, V1 et VS qui sont calculées selon la formule suivante :

$$V = LF/DF$$

- les variations de longueur des foulées : entre les deux foulées d'abord %LF12 et entre la dernière foulée d'abord et la foulée de saut %LFS1

- les variations de la vitesse sont calculées de façon analogue : %V12 et %VS.

Toutes ces variables ont été saisies sur ordinateur puis traitées de façon à obtenir pour les 75 chevaux et par épreuve, les moyennes et écart-types. Par ailleurs, l'analyse de variance a permis de connaître les différences significatives entre les niveaux d'épreuve.

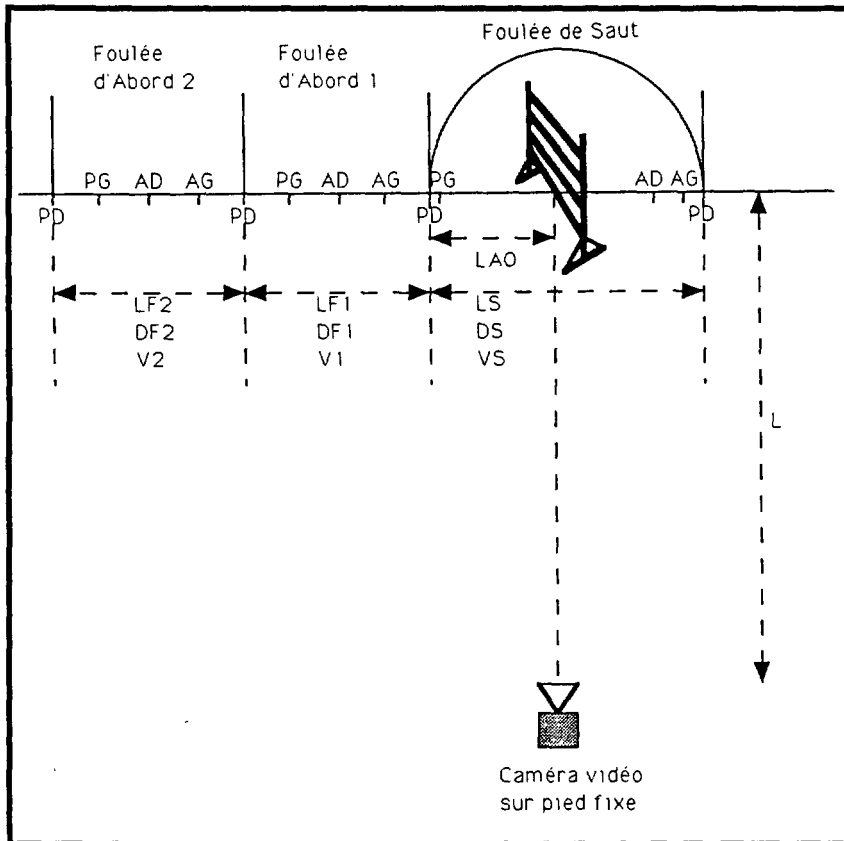


Figure 1 : Définitions des variables mesurées et schéma de la prise de vues.

l'obstacle. Parmi les chevaux expérimentés, les chevaux de A1 viennent sauter légèrement plus vite que ceux de A3.

La biomécanique de l'appel

Quel que soit le niveau d'épreuve considéré, les résultats font ressortir plusieurs similitudes concernant l'abord de l'obstacle. En effet, dans tous les cas, le cheval réduit l'amplitude et la durée de sa foulée entre les foulées d'abord 2 et 1, puis accroît ces deux paramètres pendant le saut de l'obstacle. La vitesse croît puis diminue lors de la foulée de saut. Ces évolutions de la foulée sont comparables quant à leur sens de variation pour les trois niveaux d'épreuve mais l'ampleur des variations fait clairement apparaître deux techniques d'appel : l'une employée par les jeunes chevaux, l'autre par les chevaux expérimentés.

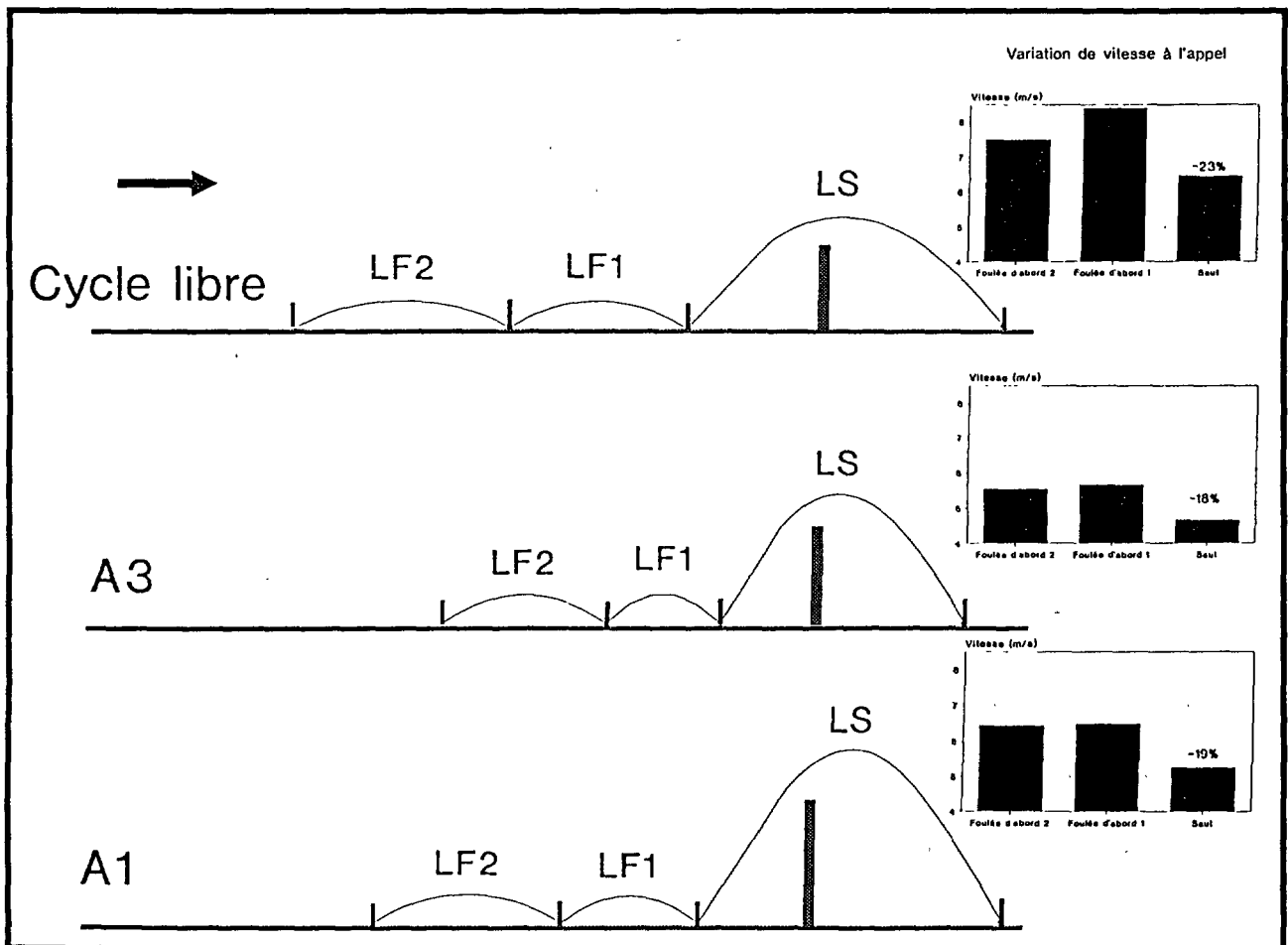


Figure 2 : Comparaison des longueurs et des vitesses des foulées de l'abord et du saut. Les traits fins symbolisent les trajectoires d'un postérieur.

Symbole	Variable Définition (unité)	Epreuve			Population
		Cycle Libre	A3	A1	Totale
DF2	Durée de la Foulée d'Abord 2 (s)	0,51±0,03	0,52±0,05	0,52±0,05	0,52±0,05
DF1	Durée de la Foulée d'Abord 1 (s)	0,38±0,06	0,36±0,05	0,38±0,05	0,37±0,05
DS	Durée de la Foulée de Saut (s)	0,84±0,05	0,91±0,06	1,00±0,06	0,92±0,08
LF2	Longueur de la Foulée d'Abord 2 (m)	3,79±0,40	2,87±0,39	3,30±0,41	3,26±0,54
LF1	Longueur de la Foulée d'Abord 1 (m)	3,13±0,60	1,99±0,46	2,44±0,60	2,44±0,71
LS	Longueur de la Foulée de Saut (m)	5,43±0,71	4,25±0,61	5,24±0,58	4,90±0,82
%LF12	Variation de la Longueur de la foulée 1/ foulée 2 (%)	-17±16	-29±18	-25±18	-25±18
%LFS1	Variation de la Longueur de la foulée de Saut/ foulée 1 (%)	76±22	121±42	123±47	110±45
LAO	Longueur de l'Appel avant l'Obstacle (m)	2,50±0,51	1,86±0,30	2,11±0,26	2,11±0,43
V2	Vitesse Moyenne de la Foulée d'Abord 2 (m/s)	7,51±1,06	5,55±0,89	6,45±1,12	6,37±1,28
V1	Vitesse Moyenne de la Foulée d'Abord 1 (m/s)	8,41±1,41	5,67±1,37	6,50±1,49	6,66±1,79
VS	Vitesse Moyenne de la Foulée de Saut (m/s)	6,46±0,76	4,68±0,76	5,27±0,57	5,34±0,99
%V12	Variation de la Vitesse de la foulée 1/ foulée 2 (%)	13±19	4±27	3±26	6±26
%VS1	Variation de la Vitesse de la foulée de Saut/ foulée 1 (%)	-22±10	-14±19	-15±18	-16±17

☞ : paramètres locomoteurs significativement différents (p<0,001) entre les épreuves.

Tableau II : Moyennes (± écart-type) des caractéristiques des foulées mesurées dans les trois types d'épreuves.

La technique de saut du jeune cheval

Les chevaux débutants en concours hippique abordent l'obstacle avec une grande vitesse et accélèrent entre les foulées d'abord 2 et 1 (V2=7,50 m/s, V1=8,41 m/s) en augmentant leur cadence tandis que l'amplitude de la foulée décroît légèrement de 3,79 à 3,13 m (soit une variation de -17 %). En revanche, la foulée de saut s'effectue avec une vitesse plus faible (VS=6,41 m/s) et sur une durée accrue (DS= 0,84 s) par rapport à celle de la dernière foulée (DF1=0,38 s).

La technique de saut du cheval expérimenté

Les chevaux expérimentés abordent l'obstacle plus lentement que les jeunes et de façon plus régulière (%V12=+3 à +4 % au lieu de +13 %). La vitesse des foulées à l'abord est maintenue en réduisant simultanément et dans les mêmes proportions (environ 30 %) la durée et la longueur des foulées. La baisse de vitesse pendant le saut de l'obstacle est peu marquée par rapport aux jeunes chevaux (15 % au lieu de 22 %) grâce à un allongement relatif de la foulée beaucoup plus conséquent (121 % à 123 % au lieu de 76 %).

Certaines nuances différencient la technique de saut des chevaux des épreuves A3 et A1. En effet, la vitesse

et la longueur des foulées sont supérieures pour les chevaux de A1, ceci restant valable pour les trois foulées considérées. La durée du saut en A1 est supérieure à celle qui est mesurée en A3. Ces distinctions sont vraisemblablement imputables à l'effet hauteur de l'obstacle qui était de 15 cm supérieure en A1 (1,40 m). Le franchissement de l'obstacle filmé dans l'épreuve A1 nécessite un effort plus conséquent qui est rendu possible par l'acquisition d'une plus grande énergie cinétique au cours des dernières foulées. Par ailleurs, la distance séparant les postérieurs de la base de l'obstacle (LAO) à la fin de l'appel augmente avec la hauteur de celui-ci. Le rapport de la distance d'appel et de la hauteur de l'obstacle semble rester dans une proportion de 1,5 pour ce niveau d'épreuve.

INTERPRETATIONS ET CONSEQUENCES PRATIQUES

La biomécanique générale du saut

Les résultats permettent de préciser la mécanique du saut chez le cheval. Le saut consiste à élever son centre de gravité (gain d'énergie potentielle) au-dessus des barres en utilisant au mieux la vitesse acquise pendant la phase d'abord (énergie ciné-

que). La transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle s'opère au moment de l'appel par un blocage du mouvement en avant réalisé par le frapper des antérieurs. Ces derniers jouent le même rôle que la perche du sauteur pour monter l'avant-main en modifiant l'orientation de la trajectoire du centre de gravité. Pendant que l'avant-main commence à s'élever verticalement, l'appui presque simultané des postérieurs permet de propulser le cheval sur une trajectoire parabolique. C'est l'impulsion finale des postérieurs au sol qui détermine le mouvement de basculement du corps au-dessus de l'obstacle. Pendant le planer, le cheval ne peut plus modifier la trajectoire de son centre de gravité (placé approximativement au centre du thorax), il est soumis aux lois de la balistique. Les mesures de la longueur du saut montrent que le sommet de la trajectoire est toujours placé 20 à 50 cm en retrait de la verticale de l'obstacle, autrement dit le saut n'est jamais centré sur l'obstacle.

Tout se passe dans la dernière foulée

Par rapport à l'avant-dernière foulée, la dernière foulée avant le saut est plus rapide et nettement plus courte (-17 à -31%). Entre la dernière foulée et le saut, la vitesse a chuté de l'ordre de -20%, ce qui traduit bien que

l'élévation du corps s'est faite au détriment de la vitesse de déplacement. On constate que les chevaux inexpérimentés transforment moins bien leur énergie cinétique en énergie potentielle puisqu'ils abordent l'obstacle plus vite et sautent moins haut. Pour un cheval moyen de 500 kg, on peut calculer les transformations d'énergie qui s'opèrent au moment de l'appel dans le cas du jeune cheval et dans le cas du cheval de Grand Prix. Il s'avère que les mouvements du jeune cheval sont 1,5 fois moins efficaces que ceux du cheval expérimenté pour effectuer cette transformation énergétique.

Toute la différence réside dans le fait que le jeune cheval n'a pas la musculature suffisante pour élever son corps après le frapper des antérieurs et qu'il compense cette faiblesse par une vitesse d'appel plus élevée. Cette technique de saut de volée lui permet de franchir des obstacles de faible hauteur mais reste défavorable sur le plan énergétique. Le perfectionnement du geste consiste donc à mieux utiliser la vitesse d'abord par une meilleure coordination et à accroître la puissance musculaire par une musculation spécifique (travail de saut ; cavaletti ; contre-bas) des muscles responsables de l'élévation de l'avant-main :

- muscles pectoraux et dentelé ventral du thorax ;
- muscles dorsaux de la masse commune (erector spinae), fessiers et ischio-tibiaux.

Des nouveautés pour l'enseignement du saut d'obstacle

Chez les chevaux de classe A3 et A1, la distance d'appel (LA0) est proportionnelle à la hauteur de l'obstacle. En moyenne, l'appui des postérieurs se fait à une distance de 1,5 fois la hauteur de l'obstacle vertical. Ce rapport de proportionnalité peut être retenu pour effectuer la reconnaissance des parcours. Il faudrait effectuer à l'avenir le même type de mesures sur un oxer. Pour le jeune cheval, cette même distance d'appel se fait en moyenne à 2,4 fois la hauteur de l'obstacle.

Les mesures de fréquence et de longueur des foulées qui précèdent le saut montrent bien qu'aucune de ces composantes ne reste stable au cours du temps. Au cours de l'abord, la cadence reste très stable puis elle augmente brutalement lors de la dernière foulée, pour ralentir ensuite lors du saut. L'amplitude de la foulée, quant à elle, subit le même type d'évolution. On peut toutefois remarquer qu'en fonction du niveau des chevaux, les cadences sont très semblables tandis que les amplitudes de foulées diffèrent nettement. Ces observations devraient permettre de perfectionner l'enseignement du saut d'obstacle qui repose quelquefois sur de fausses théories de la locomotion.

Des éléments nouveaux pour la sélection des jeunes chevaux

La technique de saut évolue en fonction du niveau du cheval mais on peut se demander si, parmi les jeunes, certains n'ont pas naturellement un style de saut se rapprochant de celui des chevaux les plus expérimentés. L'examen des paramètres de foulée mesurés en Cycle libre montre en effet que quelques chevaux adoptent une technique de saut plus proche de celle des chevaux de Grand Prix : ils abordent l'obstacle moins vite et/ou s'en rapprochent davantage.

Cette étude cinématique du geste à l'obstacle a le mérite d'avoir analysé un grand nombre de sauts de chevaux de niveaux très différents. Elle a permis de chiffrer des notions qui, pour certaines, étaient connues intuitivement ou empiriquement et qui, pour d'autres, sont nouvelles. Les retombées pratiques doivent intervenir au niveau de l'enseignement et de la sélection des jeunes chevaux.

3ème Entretiens de Laval : la médecine sportive au service des entraîneurs 17-18 Septembre 1993

Ces journées ouvertes à tous réuniront les meilleurs spécialistes autour de quatre thèmes :

Vendredi matin : démonstration de test d'effort sur l'hippodrome

Vendredi après-midi : la fiscalité du cheval de course et de sport

Vendredi soir : courses en nocturne

Samedi matin : l'alimentation du cheval de course et de sport

Samedi après-midi : le suivi médico-sportif

*Renseignement : contacter Mme Turpin
Association Pegase, Département de Médecine du Sport*

*CHG Laval
53015 Laval Cédex*

Tél : 53.66.50.00 poste 46 00 de 13 h à 17 h.