

## Faisons le Point

### CADENCE ET AMPLITUDE DES FOULEES: significations et particularités de ces deux composantes de l'allure

E. BARREY (\*), A. FRANQUEVILLE (\*\*), J.C. BARREY (\*\*\*), T. DEMONCEAU (\*\*\*\*)

(\*) Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 94704 Maisons Alfort cedex.

(\*\*) Ecole Nationale d'Equitation, Terrefort, 49411 Saumur cedex.

(\*\*\*) Station de Recherche Pluridisciplinaire des Metz, 89520 St Sauveur en Puisaye.

(\*\*\*\*) EquAthlon.

**RESUME :** La vitesse d'une allure résulte du produit de deux caractéristiques élémentaires de la foulée: la cadence et l'amplitude. Ces deux composantes de la locomotion du cheval ont une grande importance équestre en dressage, par exemple, mais aussi dans toutes les autres disciplines sportives où elles participent à la spécialisation du geste. En fonction de la vitesse, la cadence et l'amplitude des foulées évoluent selon des règles différentes qui tentent de minimiser la dépense énergétique. Pour effectuer un exercice, le cheval adopte une cadence et une amplitude de foulées pour constituer sa stratégie locomotrice. Celle-ci lui sera ou non favorable, en fonction de ses capacités et des critères de performance de la discipline.

Cadence et amplitude sont deux termes couramment employés par les cavaliers dans les différentes disciplines. En dressage, le "maintien de la cadence" dans les différents mouvements est un caractère déterminant de la notation; en saut d'obstacle, des études récentes mettent en évidence l'importance des facteurs temporels comme la cadence; en course de trot ou de galop, la vitesse du cheval dépend directement de ces deux composantes de l'allure. Toutefois, les termes d'amplitude, de cadence, de rythme et de régularité semblent mal définis et sont utilisés dans des acceptions diverses alors qu'ils peuvent être parfaitement définis.

César FIASCHI, un des maîtres de l'équitation italienne de la Renaissance devait innover en traduisant le rythme de chaque allure en notations musicales! Exemple qui ne devait pas faire école chez les grands écuyers classiques. Il faut attendre le XIX<sup>ème</sup> siècle, avec des écuyers tels

que RAABE (1883), BARROIL (1887) et LENOBLE DU TEIL (1893) pour que l'étude de la locomotion du cheval se développe. LENOBLE DU TEIL constate que la plupart des théories encore admises à son époque "dérivent, les unes, des erreurs inhérentes à l'imperfection des moyens d'investigation employés, c'est à dire de nos sens trop faciles à abuser; les autres, d'une singulière manière de procéder, qui consiste à déduire les règles du fonctionnement du mécanisme locomoteur des principes enseignés par l'équitation, alors que la saine raison voudrait que les principes équestres soient basés sur la connaissance approfondie des lois qui régissent les mouvements du cheval". L'apport du physiologiste MAREY a ouvert et tracé la voie nouvelle à l'étude du mécanisme locomoteur du cheval avec la chronophotographie. En 1907 paraît l'étude remarquable du lieutenant-colonel GOSSART qui montre que "les lois de la locomotion permettent

## Faisons le Point

d'expliquer toutes les allures dans toutes leurs variétés et sous toutes leurs formes". Ces analyses ont pour objet l'identification des allures sans toutefois étudier chacune d'elles dans leurs variations de cadence et d'amplitude.

**GOSSART appelle la "cadence du pas le nombre N de pas complets exécutés en une minute",**

Pourtant, il n'étudie pas la régularité de la répétition des pas et ne chiffre aucune cadence propre à chaque exercice. Il est le premier à esquisser une étude du rapport "longueur, cadence et vitesse du pas" qui reste cependant peu convaincante. Ces notions restent donc longtemps dans le flou pour bien des auteurs. Citons PODHAJSKY: "du poser cadencé des diagonaux, interrompu par le planer, résulte le rythme du mouvement et, par suite la musique équestre. Il faut donc veiller spécialement à ce que le rythme, dans chaque variété du trot, reste le même et que seule la longueur des foulées change...Il y a lieu de préciser ici que rythme et cadence n'ont pas la même signification...".

Ces descriptions variées nous amène à définir précisément la cadence et l'amplitude d'une allure avant d'en étudier les rapports avec la vitesse.

**La cadence de l'allure correspond très exactement à la fréquence des cycles locomoteurs.**

Ainsi, chaque membre répète périodiquement le même enchaînement de mouvements pour réaliser une foulée. La connaissance de la durée de la foulée permet de calculer la fréquence des foulées ou cadence:

$$\text{Fréquence} = \frac{1}{\text{Durée de la foulée}}$$

En conséquence, la fréquence des foulées exprime le nombre de posers d'un même membre pendant une unité de temps. Au cours de cet article, nous parlerons tantôt en "nombre de foulées par seconde" tantôt en "nombre de foulées par minute".

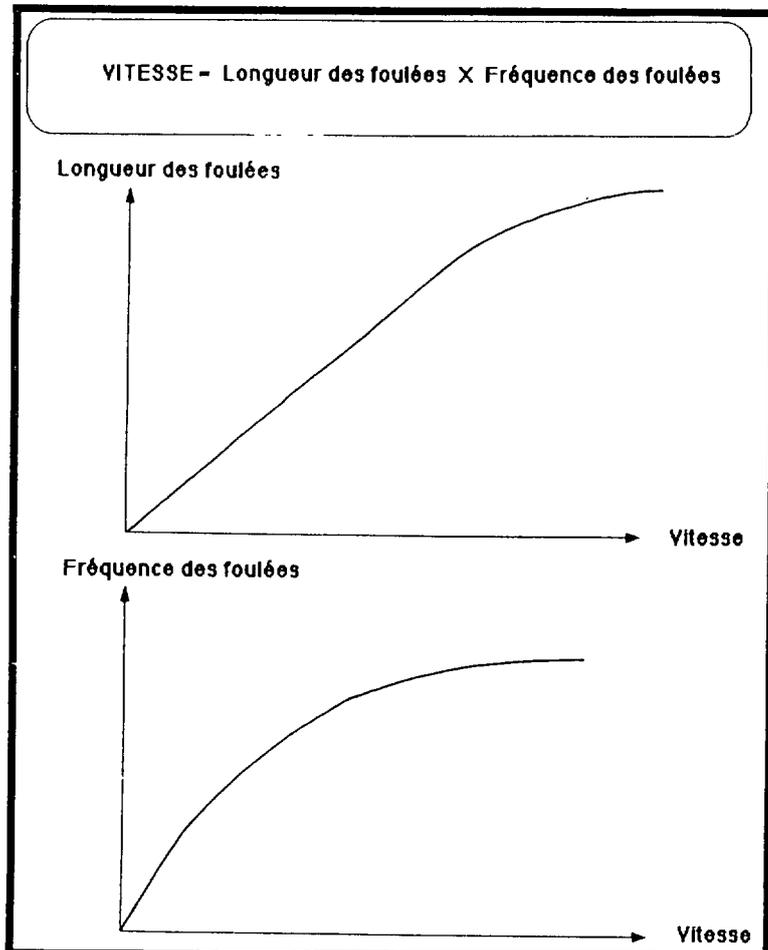
**L'amplitude d'une allure peut être définie précisément par la longueur des foulées.**

Cette longueur est la distance horizontale qui sépare les deux traces consécutives du même pied. Pendant la durée d'un cycle locomoteur, le corps du cheval avance horizontalement de cette même distance. On exprime généralement la longueur des foulées en "mètres par foulée".

### LES DEUX COMPOSANTES DE LA VITESSE D'UNE ALLURE

La vitesse de progression du cheval résulte du produit de la fréquence des foulées et de la longueur des foulées. Pour accroître sa vitesse dans une même allure, le cheval (non contraint par le cavalier) augmente simultanément ces deux composantes, mais chacune d'elles a son

*Figure 1: Evolutions de la longueur et de la fréquence des foulées en fonction de la vitesse de l'allure. Ces courbes schématisées proviennent de mesures expérimentales réalisées chez des chevaux adultes, aux trois allures, sans intervention du cavalier.*



# Faisons le Point

FACTEURS DE VARIATION	EFFETS SUR	
	fréquence	longueur
<b>Morphologiques et biomécaniques</b>		
format lourd	---	
finesse et légèreté de l'extrémité des membres	+	
hauteur des membres		+
mobilité articulaire		+
poids du cheval		+
<b>Neuro-moteurs</b>		
coordination	+	
force maximale	+	
<b>Musculo-tendineux et énergétiques</b>		
vitesse de contraction	+	
élasticité musculaire et tendineuse	+	+
fatigue musculaire pendant une course de galop	---	--- ou +
<b>Ferrure</b>		
facilité de basculement du pied	+	
pince trop longue	---	---
axe pied-paturon respecté	+	+
<b>Piste</b>		
enfouissement dans le sol	---	+
élasticité des matériaux	+	
humidité excessive d'un sol sableux	---	+
<b>Cavalier:</b>		
sollicitation à la cravache sur l'épaule au galop	+	---
charge portée par le cheval	+	---

**Tableau I: Principaux facteurs de variations de la fréquence et de la longueur des foulées.** Les caractéristiques morphologiques, biomécaniques, neuro-motrices et bioénergétiques du cheval dépendent, pour une large part, de ses origines génétiques, mais aussi de son degré d'entraînement dans sa spécialité sportive. Aux vitesses maximales de course au trot ou au galop, l'aplomb, le type de ferrure et les qualités de la piste sont autant de facteurs déterminants des valeurs maximales de la fréquence et de la longueur des foulées, qui favoriseront ou non la performance.

propre mode d'évolution. La figure 1 représente les modes d'évolution de la fréquence et de la longueur des foulées en fonction de la vitesse du cheval, du pas jusqu'au galop de course. Il est à noter qu'au fur et à mesure que la vitesse s'accroît, l'amplitude de la foulée augmente régulièrement de manière proportionnelle, tandis que la cadence progresse de plus en plus faiblement. Ainsi, aux allures lentes (pas et trot) la cadence contribue davantage que l'amplitude à produire la vitesse puis, progressivement, aux allures rapides (trot et galop), c'est l'amplitude qui prédomine. Bien entendu, ces mécanismes ne sont valables que pour des chevaux sains.

Chez le jeune, ces règles restent valables comme l'a démontré une équipe de chercheurs nord américains (LEACH et al., 1986) dont nous rapportons ici les principaux résultats. Chez le poulain pur-sang, les caractéristiques de croissance déterminent

assez largement le mode de locomotion adopté. Par exemples, les foals de petite taille préfèrent allonger leur foulée pour accroître leur vitesse, tandis que les plus grands modèles adoptent plutôt une cadence plus élevée. La masse totale du poulain est, en partie, corrélée à la longueur des foulées, contrairement à la hauteur au garrot et aux hanches qui ne le sont pas du tout. Enfin, pour une même vitesse, les foals ayant des aplombs plus droit-jointés ont des foulées plus courtes et, par conséquent, une cadence supérieure.

Chez le cheval adulte, la fréquence et la longueur des foulées sont modifiées par différents facteurs liés à ses qualités propres, mais aussi à sa ferrure, au sol et aux actions du cavalier. Le Tableau I résume les principaux facteurs de variation mis en évidence expérimentalement.

Sur un plan fonctionnel, le contrôle de la fréquence et de l'amplitude des mouvements locomoteurs est assuré par des mécanismes nerveux bien distincts.

La fréquence des foulées provient d'une activité rythmique d'origine centrale qui stimulent les muscles locomoteurs par l'intermédiaire d'une certaine catégorie de motoneurones. L'amplitude des foulées résulte directement du nombre de fibres musculaires recrutées dans chaque muscle actifs. Ainsi, l'allongement de l'allure implique le recrutement d'un plus grand nombre d'unités motrices.

En résumé, soulignons qu'un cheval peut jouer à la fois sur la fréquence et la longueur de ses foulées pour faire varier sa vitesse. En fonction de ses aptitudes et de l'exercice demandé, il adoptera une stratégie locomotrice qui privilégiera l'une de ces deux composantes.

## RAPPORTS ENTRE CADENCE, AMPLITUDE ET COUT ENERGETIQUE DE LA LOCOMOTION.

Il a été démontré à plusieurs reprises que le déterminisme du changement d'allure est lié à l'évolution du coût énergétique du déplacement. Lorsque la vitesse du cheval augmente, la transition vers l'allure supérieure s'opère lorsque la dépense énergétique de l'allure inférieure devient excessive. En effet, au-delà d'une vitesse critique, la répétition de plus en plus rapide des gestes locomoteurs devient moins avantageuse que de passer à l'allure supérieure à la même vitesse. La figure 2 représente l'évolution du coût énergétique du mètre parcouru au pas, au trot puis au galop, mesurée chez des poneys.

Il apparait nettement, pour chaque allure, une vitesse optimale, à laquelle la dépense énergétique par mètre parcouru est minimale.

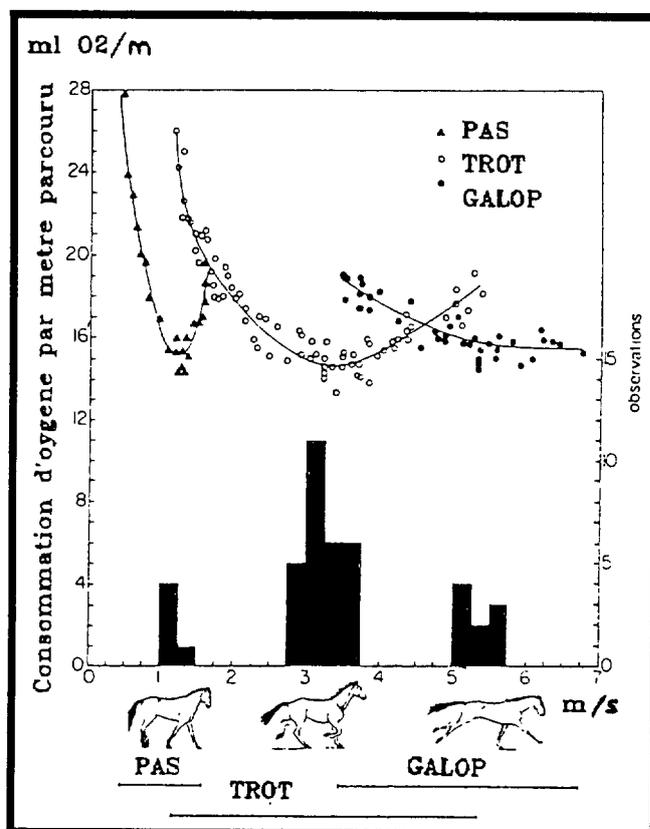


Figure 2: Relation entre la dépense énergétique par mètre parcouru (ml d'oxygène/m) et la vitesse de l'allure (m/s). Pour chaque allure, il apparait une vitesse particulièrement économique qui correspond à une efficacité maximum des mouvements locomoteurs. Ces courbes mettent aussi en évidence les vitesses critiques des transitions d'allure qui sont déterminées par l'élévation excessive du coût énergétique de déplacement (HOYT et TAYLOR, 1981).

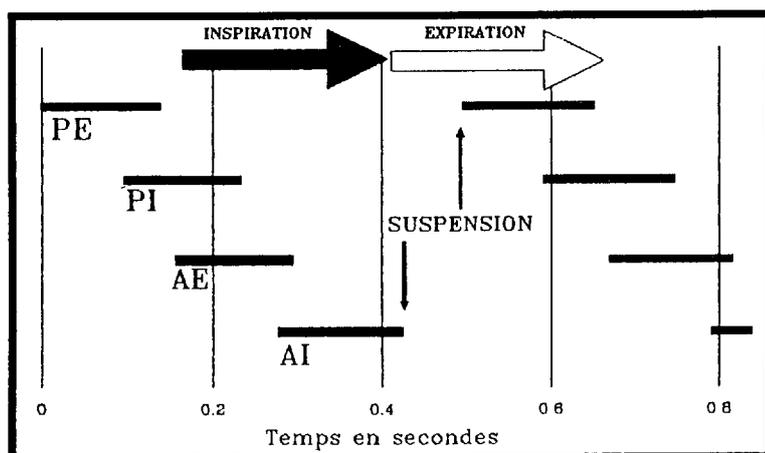
L'efficacité des gestes est alors maximale. Il s'agit de caractéristiques très individuelles, susceptibles d'évoluer avec le travail d'entraînement (assouplissement, gain en puissance musculaire, meilleure efficacité du mouvement, etc). Bien entendu, à ces vitesses particulières, il est possible de faire correspondre une cadence et une amplitude optimum des foulées. Le cheval, laissé libre de choisir sa cadence, adopte instinctivement la plus économique. Lorsque le terrain change soit de consistance sous les pieds, soit de profil, la cadence et l'amplitude se réajustent afin de minimiser la dépense énergétique tout en maintenant la vitesse constante.

## La répétition des mouvements locomoteurs demande un investissement énergétique plus grand que l'augmentation de leur amplitude.

En effet, d'autres travaux de recherche tels que des tests d'efforts sur tapis roulant ou sur pistes révèlent, aux vitesses élevées, une liaison plus forte entre le taux d'acide lactique sanguin et la fréquence des foulées plutôt qu'avec la longueur des foulées. En clair, cela signifie qu'à des vitesses supérieures à 5 m/s, la répétition rapide des mouvements locomoteurs, autrement dit, la cadence, est la principale responsable de la dépense énergétique.

## La respiration est, dans certains cas, très dépendante des caractéristiques de la foulée.

Au trot de course et au galop, un couplage fonctionnel s'opère entre les mouvements locomoteurs et les mouvements respiratoires. La ventilation pulmonaire résulte du produit fréquence respiratoire x volume respiratoire courant. Au galop, chaque cycle respiratoire (inspiration + expiration) est exactement en phase avec le cycle locomoteur. Autrement dit, la cadence des foulées impose la fréquence respiratoire. Au galop



**Figure 3: Couplage entre la fréquence respiratoire et la fréquence des foulées, au galop.** Au galop de course, l'inspiration a lieu pendant la phase de suspension et l'appui des postérieurs (PE,PI); l'expiration se produit au cours de l'appui des antérieurs (AE,AI) (ATTENBURROW D.P., 1982).

de course (4 temps), l'inspiration commence quelques instants avant que l'antérieur leader ne quitte le sol et s'achève juste avant que l'antérieur du diagonal de la foulée suivante ne prenne appui (Figure 3). L'expiration a lieu pendant l'appui des antérieurs qui soutiennent le thorax. Ces efforts musculaires étant parfaitement coordonnés avec ceux des muscles respiratoires thoraciques et diaphragmatiques, les mouvements d'expiration sont facilités. Au petit galop (3 temps), le couplage des fréquences demeure, mais l'expiration commence dès le début de l'appui du diagonal et s'achève avant la fin de l'appui de l'antérieur leader.

En plus d'une dépendance étroite de la fréquence respiratoire, les caractéristiques de la foulée imposent aussi le volume respiratoire courant. En effet, il est démontré qu'aux allures allongées ce volume courant croît avec la longueur de la foulée. Au trot, le cycle respiratoire n'est pas aussi bien réglé sur le cycle locomoteur puisqu'on observe des rapports de fréquences respiratoire / locomoteur variant de 1/1 à 2/1. Au pas, aucun couplage n'est constaté.

Les deux composantes de la vitesse d'une allure ont donc des retentissements importants sur le fonctionnement énergétique du cheval à l'exercice. La fréquence des foulées détermine, pour une grande part, la dépense énergétique requise pour parcourir une distance donnée à une vitesse élevée. Enfin, au trot mais plus encore au galop, la ventilation pulmonaire est complètement dépendante des paramètres de la foulée.

## QUELQUES ASPECTS DE LA CADENCE ET DE L'AMPLITUDE DES FOULEES DANS LES DIFFERENTES DISCIPLINES HIPPIQUES.

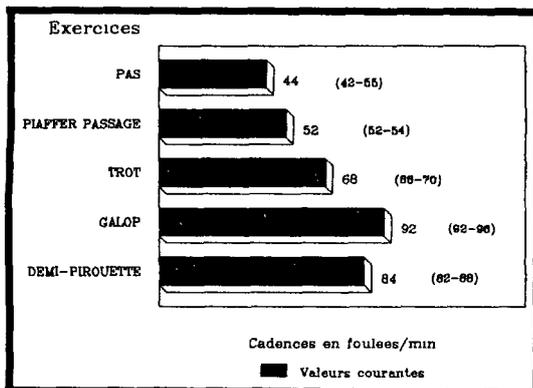
Illustrons les données physiologiques et locomotrices exposées ci-dessus par des exemples chiffrés et concrets choisis parmi le dressage, le saut d'obstacle, les courses et les raids d'endurance.

# Faisons le Point

## Dressage.

Avant de discuter des particularités de la cadence et de l'amplitude en dressage, nous vous invitons à parcourir les règlements de dressage qui inspirent cette discipline issue de l'équitation académique (Encadré 1). Les critères de jugement actuels attachent une grande importance à la stabilité de la fréquence des foulées au cours des différents exercices ce qui implique la seule variation de la longueur des foulées pour changer la vitesse de l'allure. Qualifions donc la cadence qu'il faut rechercher en dressage.

**Sur un plan technique:** la cadence doit être stable et permettre une locomotion élastique; elle ne varie pas au cours du travail dans une même allure, en particulier dans les changements d'amplitude, donc de vitesse, ni dans les changements de direction (courbes et travail de deux pistes). En pratique, l'emploi du métronome permet de percevoir les éventuels changements de cadence. La figure 4 indique les cadences qu'il convient de suivre pour réaliser divers exercices de dressage.



**Figure 4:** Valeurs indicatives de la cadence requise pour effectuer différents exercices de dressage. Ces cadences ont été mesurées chez des chevaux de haut niveau à l'aide d'un métronome (FRANCOUVEILLE A.).

**Sur un plan esthétique:** le dressage doit aboutir à une stylisation des allures qui deviennent plus élastiques, plus élégantes sans perdre leur pureté. L'allure évolue alors dans le sens d'un ralentissement du

## Encadré 1: La cadence selon les règlements de dressage.

### Règlement de la FEI 1963.

Le mot cadence n'est pas défini, la notion reste très imprécise, elle n'apparaît qu'à travers la définition des allures du cheval dressé, par l'article 401: "son galop est uni, léger et cadencé"; et dans l'article 408: les transitions: "la cadence antérieure est soutenue jusqu'au moment où le cheval prend l'allure ou la vitesse nouvelle ou marqué l'arrêt" ce qui laisse entendre que la cadence peut changer lors d'un changement de vitesse dans une allure.

### Règlement de la FEI 1975.

Dans l'article 408 sur les transitions, le mot cadence est remplacé par rythme: "le rythme antérieur est conservé jusqu'au moment où le cheval prend l'allure nouvelle ou marqué l'arrêt."

### Règlement de la FEI 1983.

Le mot cadence apparaît dans les définitions (article 401, paragraphe 7): "On appelle cadence un mouvement bien marqué, rythmique et harmonieux."

### Règlements français FEF.

Les règlements français traduisent la place prise par la cadence dans les critères de jugement dès 1978; on peut lire en effet:

Allures: "L'appréciation de leur qualité est fonction des facteurs suivants: amplitude, activité, cadence et régularité dans l'équilibre..."

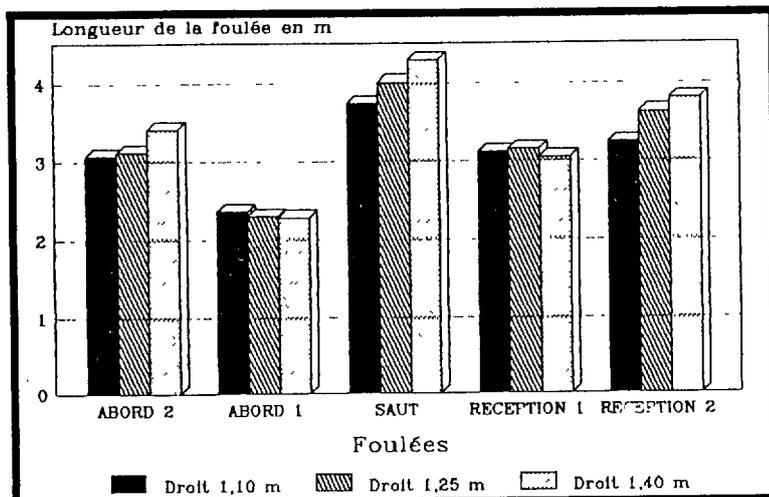
- dans les allongements, exiger le maintien de la cadence... et sanctionner la précipitation...

- dans les ralentissements, la cadence reste inchangée, l'énergie du geste doit demeurer, son étendue seule est diminuée.

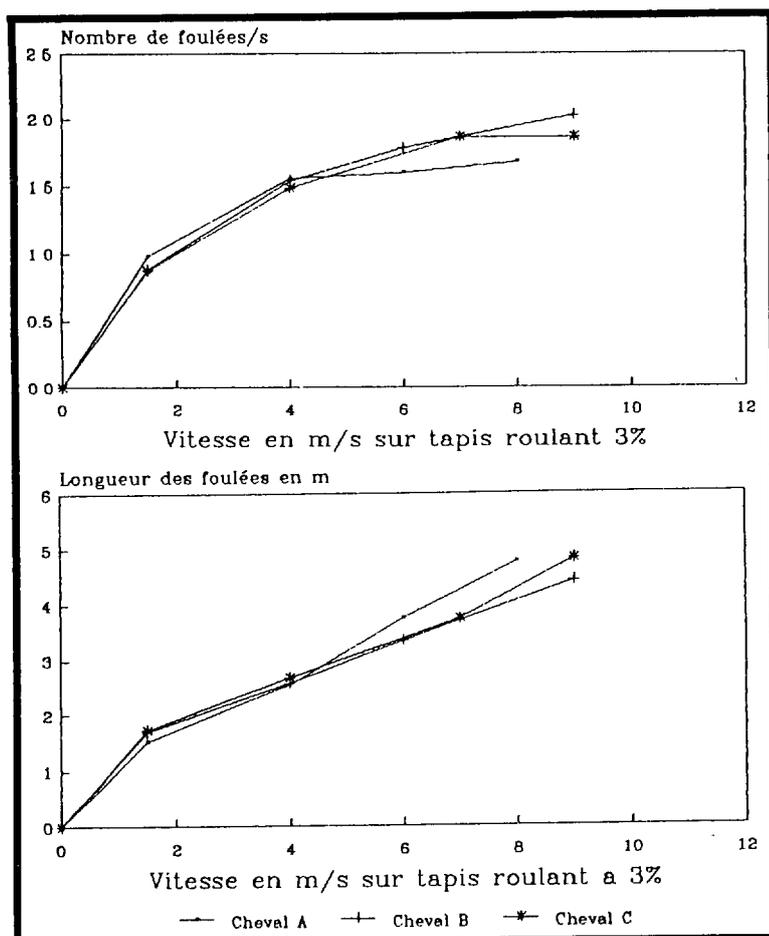
- la cadence est la mesure régulière que le cheval observe dans le poser de ses membres."

**Les notes d'orientation** à l'intention des cavaliers et des juges de dressage publié en 1987 pour la FEF confirme l'importance donnée à la cadence dans l'évaluation des mouvements par les juges. Toutefois, il faut préciser que dans la pratique, ce sont les ruptures nettes et les précipitations ("cheval qui court") qui sont sanctionnées et que les légères variations de cadence sont tolérées.

Toutefois, la cadence parfaitement stable est devenue le modèle de la bonne allure, particulièrement au trot, et influe très nettement le choix d'un cheval de dressage. On peut s'interroger sur l'origine véritable d'un tel critère dont l'émergence récente aura des répercussions sur la sélection des chevaux en vue de la discipline du dressage; mais n'est-ce pas aussi un moyen de privilégier la locomotion sur le travail du dresseur voire de faciliter la promotion d'un élevage?



**Figure 5: Longueur des foulées avant et après le saut d'un droit.** Les mesures ont été faites par cinématographie sur les deux foulées d'abord, la foulée de saut (appel et réception) et les deux foulées suivant la réception. (D'après CLAYTON H.M. et al., 1989)



**Figure 6: Evolution de la fréquence et de la longueur des foulées de trois chevaux trotteurs (3 ans) effectuant un test d'effort de vitesse croissante sur tapis roulant** (VALETTE et al.).

tempo, on dit que l'allure est cadencée ou que le cheval a de la cadence.

## Saut d'obstacle.

Le saut d'un obstacle entraîne des variations rapides de la fréquence et de la longueur des foulées. L'élévation du corps du cheval au-dessus de l'obstacle nécessite un effort de forte puissance. Pour se propulser vers le haut au moment de l'appel, le cheval diminue brutalement sa vitesse horizontale (énergie cinétique) pour accroître sa vitesse verticale lors de la dernière foulée. Le cheval puise dans son énergie cinétique pour monter son corps au-dessus des barres. Ainsi, l'élévation de l'avant-main produite par l'appui des antérieurs requiert une forte diminution de l'amplitude de la foulée (Figure 5). Plus l'obstacle à franchir est haut, plus le raccourcissement de la dernière foulée est marqué. La longueur de la foulée du saut est supérieure à celle des foulées normales et s'accroît à la fois avec la hauteur et la largeur de l'obstacle. Après la réception des antérieurs, les deux foulées suivantes sont progressivement plus amples; le cheval doit reprendre sa vitesse horizontale.

Les variations instantanées de la fréquence des foulées n'ont-elles pas fait l'objet de mesures précises. Toutefois, la cadence moyenne se situe entre 102 et 117 foulées/min selon le type de parcours (FRANCQUEVILLE A.).

## Courses de trot et de galop:

En course, la vitesse moyenne doit être maximale, si bien qu'il faut rechercher le meilleur produit Fréquence x Longueur. Chez tous les chevaux, l'une de ces deux composantes limite la vitesse maximale. L'entraînement doit, entre autres, améliorer les valeurs maximum de la cadence et de l'amplitude des foulées. La figure 6 met en évidence les différences d'aptitudes locomotrices de trois jeunes chevaux trotteurs en début d'entraînement. D'après les valeurs des indices cardiaques et lactiques, le cheval A présentait la meilleure condition physique. Cependant, sa cadence maximale plafonne dès le palier à 8m/s ce qu'il

## Faisons le Point

compense par une foulée plus longue. Le cheval B avait des indices physiologiques moins bons que les autres chevaux ce qui est à rapprocher de sa cadence plus élevée. Ce dernier cheval a semble-t-il de meilleures aptitudes locomotrices car d'après les paliers de vitesse de 8 et 9 m/s, la fréquence et la longueur des foulées peuvent encore augmenter. Une équipe suédoise (DREVEMO et al., 1980) a mesuré les caractéristiques des foulées de 30 trotteurs courant sur piste à la vitesse moyenne de 12 m/s (soit 1'23" au km); la fréquence était de 2,22 foulées/s (soit 133 foulées/min) et la longueur de 5,45 m.

L'effort physique intense, développé au cours d'une course, engendre une apparition rapide de la fatigue qui se manifeste par une baisse progressive de la vitesse. Sur une course de galop de 1600m par exemple, les caractéristiques des foulées s'amenuisent tout au long du parcours (Figure 7). En général, la fréquence baisse davantage que la longueur des foulées. Cependant chez quelques chevaux, l'amplitude des foulées se maintient ou même s'accroît en fin de course. Chez le galopeur, la longueur des foulées dépend essentiellement de la capacité à allonger la distance qui sépare les appuis diagonaux. Lorsque le cheval fatigue; la dissociation des appuis diagonaux et la distance qui les sépare régressent.

### Raid d'endurance:

Lors des efforts de très longue durée, l'efficacité des mouvements locomoteurs est déterminante car elle fixe la vitesse moyenne soutenable par rapport à la fatigabilité du cheval. D'après quelques expérimentations de terrains, il semble que la stratégie locomotrice la plus favorable en endurance soit de maximiser l'amplitude et de minimiser la cadence pour une vitesse donnée. Ce mode de locomotion paraît être le plus économique, ce qui repousse la limite d'épuisement des carburants métaboliques. Aucun chiffre ne peut être avancé car ces paramètres d'allure sont propres à chaque individu.

La figure 8 compare les stratégies locomotrices de deux chevaux d'endurance dont

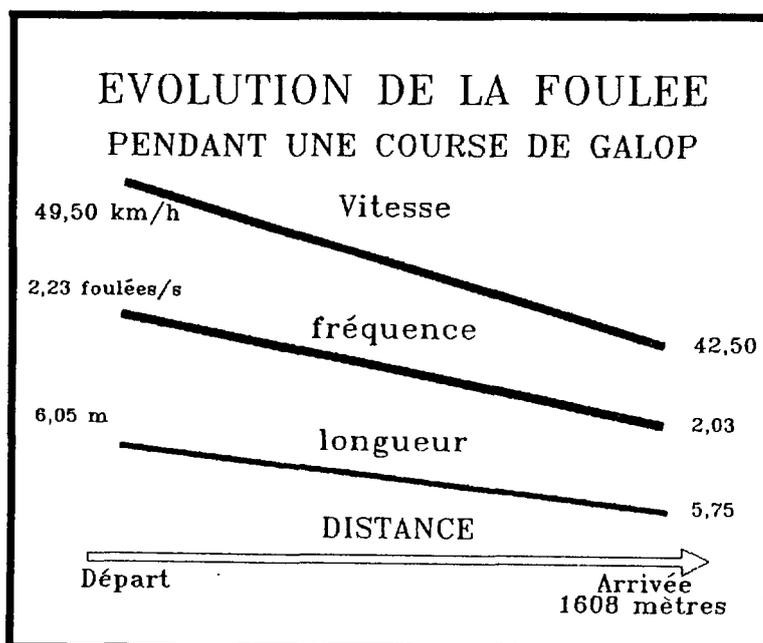
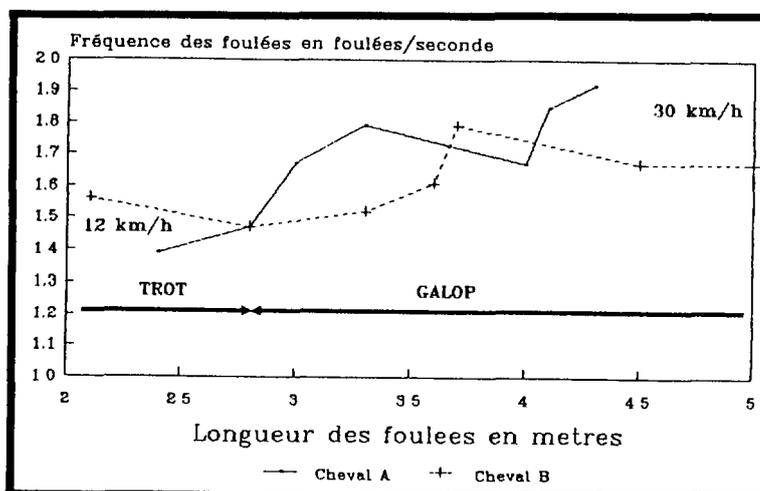


Figure 7: Modifications des caractéristiques des foulées au cours d'une course de galop de 1600 m. La baisse des paramètres mesurés en début de course puis à l'arrivée est respectivement de -19%, -13% et -6% pour la vitesse, la fréquence et la longueur des foulées (LEACH D.H., 1979).

Figure 8: Exemples de stratégies locomotrices de deux chevaux d'endurance de races différentes. Ces mesures ont été faites au cours d'un test d'effort par paliers de vitesses croissantes: 12, 15, 18, 21, 24, 27 et 30 km/h. Le cheval A privilégie l'augmentation de cadence tandis que le cheval B préfère allonger sa foulée (DEMONCEAU et al., 1989).



## Faisons le Point

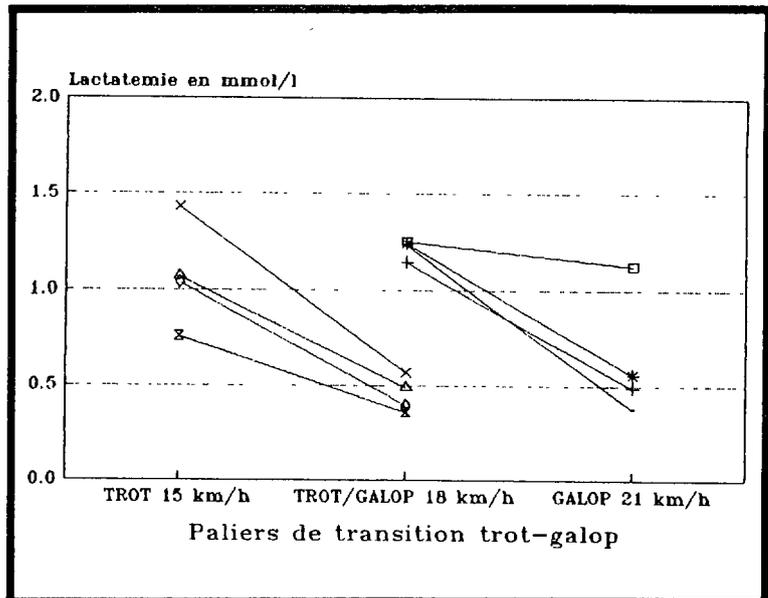
un (Cheval B) possède une allure plus économique que l'autre. Aux allures rapides, le cheval B accroît sa vitesse presque exclusivement en allongeant ses foulées tandis que le cheval A augmente surtout la fréquence.

Le changement d'allure peut retentir favorablement sur le métabolisme musculaire par une diminution à la fois de la cadence et de l'amplitude des foulées. Ainsi, pour une faible élévation de la vitesse, le cheval change d'allure et bénéficie d'une baisse de la lactatémie. Ce phénomène prévisible, selon les courbes de la figure 2, a été mis en évidence lors d'un test d'effort par paliers de vitesses croissantes. Les cavaliers laissent leur cheval choisir le palier de transition trot-galop (18 km/h ou 21 km/h). La figure 9 montre quelques exemples de l'évolution de la lactatémie au cours de la transition trot-galop. Sur 21 chevaux, le passage du trot au galop entraînait une baisse de moitié de la lactatémie moyenne: dernier palier au trot: 1,23 mmol/l; premier palier au galop 0,63 mmol/litre (DEMONCEAU, 1989).

### CONCLUSION

La cadence et l'amplitude de la foulée sont des notions connues empiriquement depuis longtemps, mais depuis une dizaine d'années, les travaux de recherche sur la locomotion équine les ont précisées et ont surtout démontré l'intérêt de les mesurer pour analyser les différents modes de production de la vitesse. De plus, les recherches ont montré les rapports étroits qui existent entre les caractéristiques des foulées et le coût énergétique de la locomotion. Pour toutes ces raisons, il peut être intéressant de mesurer les paramètres de l'allure: fréquence et longueur des foulées (Encadré 2).

Il reste encore de nombreux points à éclaircir notamment pour comprendre les spécificités d'allure de chaque discipline sportive. En particulier, des investigations plus précises doivent être menées dans le domaine du dressage et du saut d'obstacle afin de perfectionner le travail des chevaux selon des critères très objectifs.



**Figure 9: Conséquence de la transition trot-galop sur la lactatémie.** Les chevaux sont laissés libres de changer d'allure au palier de 18 km/h ou à celui de 21 km/h. Pour 19 des 21 chevaux, on constate une baisse très nette de la lactatémie entre le dernier palier de trot et le premier palier de galop (D'après DEMONCEAU, 1989).

### Encadré 2: Comment mesurer la fréquence et la longueur des foulées ?

Il suffit de connaître deux des trois paramètres vitesse, fréquence et longueur des foulées pour déterminer le troisième par la relation:

$$\text{Vitesse} = \text{Fréquence} \times \text{Longueur}$$

#### Sur le terrain.

Il est plus aisé de mesurer la fréquence et la vitesse, puis d'en déduire la longueur.

- Mesure de la vitesse par chronométrage sur une distance déterminée. Exemple: 350 m/min ou 5,83 m/s.

- Mesure de la fréquence moyenne en chronométrant la durée nécessaire au cheval pour effectuer 20 foulées. Pour cela, il suffit de chronométrer tout en comptant 20 posers du même pied. La fréquence moyenne vaut alors 20 / temps obtenu en secondes. Exemple: 20 / 36,66 = 1,83 foulées/s.

- La longueur des foulées vaut: 5,83 / 1,83 = 3,18 m/foulée.

En dressage, l'emploi d'un métronome permet de chiffrer la cadence lorsque la fréquence des foulées et le rythme sonore sont synchrones.

#### Au laboratoire.

Des mesures précises peuvent être réalisées par cinématographie ou vidéographie à prises de vues rapides.