

**ARIONEO**  
HORSE DATA SCIENCE

## **DONNÉES DE LOCOMOTION : COMPRENDRE LES STRATÉGIES D'ACCÉLÉRATION DE VOS CHEVAUX**

**LES DONNÉES DE TRACKING AU SERVICE DE LA PERFORMANCE**



## INTRODUCTION

### 01 LES SPÉCIFICITÉS LOCOMOTRICES DU CHEVAL DE COURSE

1. Le trot
2. Le galop et le pied de préférence
3. La respiration du cheval, fonction de son allure

### 02 LA LOCOMOTION SOUS LE PRISME DE LA SYMÉTRIE ET DE LA RÉGULARITÉ

1. La régularité, gage de qualité ?
2. La symétrie, synonyme de performance ?
3. Les défauts de régularité et de symétrie

### 03 STRATÉGIES LOCOMOTRICES ET PARCOURS DE COURSE

1. Les virages
2. Les pentes
3. Le terrain

### 04 LOCOMOTION ET APTITUDES PHYSIQUES

1. La locomotion à la source de la vitesse
2. Stratégies d'accélération et locomotion
3. Comment détecter des futurs performeurs grâce aux paramètres locomoteurs ?



## 05

### OPTIMISER LA GESTION D'UNE COURSE GRÂCE À LA LOCOMOTION

1. Comment les chevaux adaptent-ils leur locomotion au cours d'une course ?
2. À chaque distance sa stratégie locomotrice
3. Quel est l'impact de la fatigue sur la locomotion d'un cheval de course ?

## 06

### ANALYSER LA LOCOMOTION POUR PRÉVENIR LES RISQUES DE PATHOLOGIE

1. Déetecter des blessures et des boiteries naissantes
2. Prévenir les risques par un entraînement équilibré

## 07

### COMMENT OPTIMISER LE TRAVAIL LOCOMOTEUR PAR L'EXPLOITATION DES DONNÉES EQUIMETRE

1. Choix de distance en fonction du profil locomoteur
2. Stratégies de course et gestion de la locomotion

## L'ESSENTIEL

## L'AVIS D'EXPERT

# LA LOCOMOTION DU CHEVAL DE COURSE

Aujourd’hui le cheval de course est considéré comme un athlète de haut niveau. Bien que ses aptitudes dépendent de ses capacités physique, cardiaque et respiratoire, celles-ci ne suffisent pas à le définir comme un bon ou mauvais athlète. Il est essentiel de déterminer son profil locomoteur afin de caractériser sa locomotion.

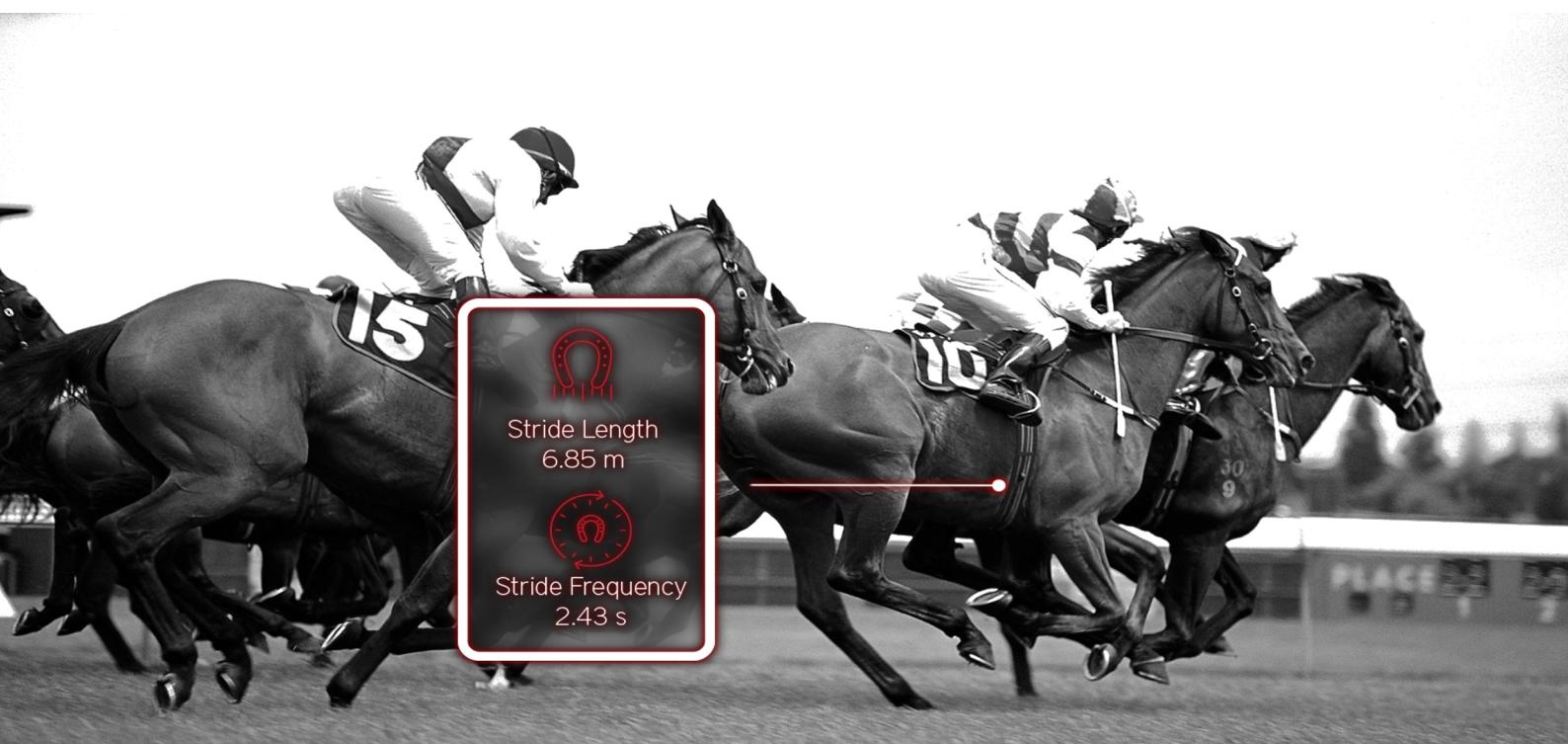
**Comment le cheval utilise-t-il ses membres pour se déplacer ? Comment améliorer sa vitesse et son processus de production énergétique ?**

L’analyse de la locomotion du cheval se traduit par l’observation de son déplacement mais aussi l’interprétation de données telles que sa vitesse, son amplitude et sa cadence.

Cette analyse fournit des indications précieuses sur les aptitudes physiques, l’état de forme et le potentiel d’un cheval. L’analyse de la locomotion permet également de révéler en amont des gênes ou des douleurs.

Bien que ces caractéristiques puissent être évaluées par un œil expert ou par le ressenti du cavalier, obtenir une mesure objective et scientifique de ces paramètres permet d’assurer un suivi de précision.

**Vitesse = Amplitude x Cadence**





L'amplitude et la cadence sont les paramètres clés permettant d'objectiver la locomotion d'un cheval. Une étude de ces valeurs permet de :



### **PRÉVENIR ET DÉTECTOR LES BLESSURES**

*Comment les données collectées par EQUIMETRE permettent-elles de détecter une douleur locomotrice ?*

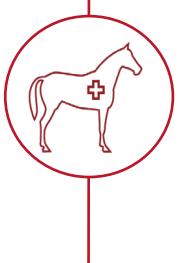
*Quelles situations nécessitent une vigilance de la part des entraîneurs ?*



### **IDENTIFIER LE PROFIL LOCOMOTEUR**

*Comment le cheval modifie-t-il sa locomotion selon le terrain ?*

*Comment tirer le maximum d'un cheval en fonction de son profil locomoteur ? Existe-t-il des différences de locomotion suivant la distance de la course ?*



### **DÉTECTOR LES FUTURS PERFORMEURS**

*Qu'est ce qui caractérise un bon cheval ?*

*Quels sont les points de référence parmi les grands champions ?*

Au cours de ce livre blanc, nous étudions dans un premier temps les spécificités locomotrices et analysons la locomotion sous le prisme de la symétrie et de la régularité. En course, selon les parcours, la locomotion permet au cheval de s'adapter aux virages, à la pente et à la nature du terrain.

Forts de ces éléments de définition, nous expliquons comment objectiver les aptitudes sportives par l'étude de la locomotion, puis comment optimiser la stratégie de vitesse pour préparer une course.

Enfin, la locomotion permet de détecter des pathologies et leurs signes avant-coureurs.

Ce livre blanc présente quelques clés d'exploitation afin de récolter, analyser et utiliser au mieux les données de locomotion pour l'optimisation de la performance et le suivi de la santé des chevaux athlètes.

On appellera **“Profil locomoteur”** le couple **Cadence, Amplitude** d'un cheval à une vitesse donnée (60 km/h pour les galopeurs).



*Il est en revanche erroné de penser qu'une grande amplitude est préférable à une grande cadence : la première est un témoin de la puissance tandis que la seconde témoigne de l'efficience du système cardio-respiratoire.*



# CHAPITRE 1 | LES SPÉCIFICITÉS LOCOMOTRICES DU CHEVAL DE COURSE

Le trot et le galop sont deux allures phares, faisant l'objet de nombreuses courses attelées, montées, d'obstacles etc. Ce sont deux allures sautées au cours desquelles les membres du cheval n'effectuent aucun contact avec le sol durant un bref instant. Ce temps de suspension est utilisé différemment selon les disciplines. Par exemple, en dressage, le cavalier recherche davantage de rebond chez son cheval, tandis qu'un cavalier de course recherche une propulsion vers l'avant.



*Mouvement du centre de gravité chez un cheval de dressage et chez un cheval de course. Le centre de gravité du cheval de dressage varie verticalement. Le centre de gravité d'un cheval de course est quasiment à altitude fixe : ses foulées sont rasantes.*

Chez le cheval de course, tout mouvement vertical de son centre de gravité est perçu comme une perte d'énergie. L'optimisation de son centre de gravité à même altitude tout au long de la foulée est donc importante. Bien que les trotteurs et galopeurs partagent cette logique, leur locomotion n'en est pas moins différente.

# 1 LE TROT

Le trot est une allure symétrique durant laquelle les deux membres se présentent en diagonale l'un de l'autre effectuent exactement le même mouvement. La moyenne des chevaux trotteurs monitorés par Equimetre (pour des chevaux atteignant 40km/h) met en évidence une cadence de 2,3 foulées par seconde, avec une amplitude de 5,94m, contre 1,3 foulées par seconde et une amplitude de 3m pour des chevaux classiques.

L'amplitude d'un trotteur est limitée par des **contraintes physiologiques**. En effet, durant chaque temps de suspension, le postérieur qui avance risque de toucher l'antérieur qui est en position de recul. Cette situation oblige donc le cheval à déplacer ses membres postérieurs vers l'extérieur afin de limiter les chocs avec ses antérieurs.

Ce mouvement latéral et physiologiquement anormal pour le cheval constitue une perte d'énergie car tout le mouvement n'est pas concentré vers un déplacement antéro-postérieur.

Par ailleurs, ce type de déplacement peut mener à **une usure prématuée des membres et ainsi entraîner de l'arthrose ou détérioration du cartilage.**

Dans certaines situations, le trotteur peut adopter des allures non naturelles ou galoper, ce qui est alors sanctionné. Bien que les mécanismes amenant le trotteur à la faute ne soient pas forcément documentés dans la recherche scientifique, certaines situations telles que la fatigue ou la douleur, peuvent les déclencher.

*La moyenne des chevaux trotteurs monitorés par Equimetre (pour des chevaux atteignant 40km/h) met en évidence une cadence de 2,3 foulées par seconde, avec une amplitude de 5,94m, contre 1,3 foulées par seconde et une amplitude de 3m pour des chevaux classiques.*



## 2 LE GALOP & LE PIED DE PRÉDILECTION

Le galop est une allure dissymétrique. Il est courant d'entendre que le cheval galope à gauche ou galope à droite.

On traduit de ces expressions la façon dont le cheval place ses membres au galop. On dit que le cheval « galope à gauche » lorsque ses membres (*antérieurs et postérieurs*) gauches avancent plus loin que ses membres droits.

Le galop est une allure à trois temps, pendant laquelle le cheval pose simultanément le postérieur et l'antérieur présent dans sa diagonale. En situation de course, les chevaux sont en ligne droite et ne possèdent donc aucune contrainte. Ainsi ils décident eux-même de partir sur leur pied de prédilection.

Tout comme les humains, les chevaux sont dits « gaucher » ou « droitier ». Aucune étude n'a encore démontré de différence de performance entre les chevaux droitiers ou gauchers. Cependant, dans une course où la corde est à droite, les chevaux droitiers sont plus souvent vainqueurs, et inversement (Cully et al., 2018). Aux États-Unis, toutes les pistes sont courues corde à gauche. De ce fait, la majorité des chevaux sont gauchers.

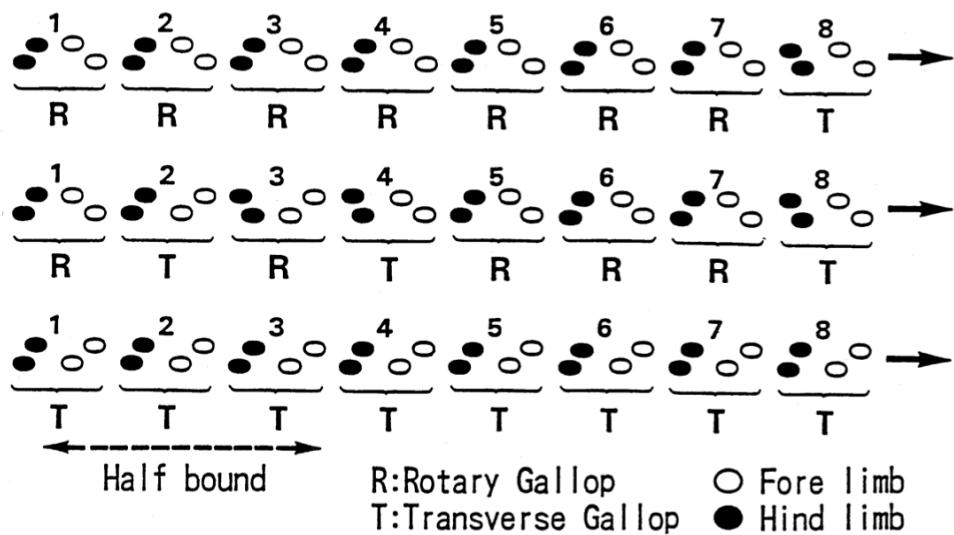
**Tout comme les humains, les chevaux sont dits « gaucher » ou « droitier ».**



La latéralisation d'un cheval influe de manière ponctuelle durant une course, mais n'apporte pas d'avantage physiologique en général. Lors d'une course, du fait de la vitesse, les chevaux peuvent être amenés à dissocier leurs mouvements. Le postérieur du cheval se pose légèrement plus tôt que l'antérieur associé à sa diagonale. Ainsi, le galop passe de trois temps à quatre temps.

L'antérieur avancé au galop subit des contraintes plus importantes que l'autre. En effet, il est le dernier membre à se poser avant le planer et supporte donc, durant un instant, l'intégralité du poids du cheval dans une position peu stable. Au galop à droite, les muscles de la main droite sont ainsi plus sollicités que ceux du côté gauche. De ce fait, les chevaux droitiers seront plus musclés à droite et inversement. Chaque cheval est donc dissymétrique du fait de sa latéralité. L'entraîneur doit donc prendre en compte cette préférence pour adapter l'entraînement et les engagements de chaque cheval.

À l'exception de la sortie des boîtes de départ, les galopeurs n'adoptent que très rarement des allures défectueuses. Il arrive que le galop du cheval ne soit pas naturel pendant un certain temps, du fait de la rapidité de son départ. Quelques mètres après, le cheval s'auto-régule et ré-adopte un galop normal.



**Fig. 5.** Gait changes at the start dash in three horses.

Cette figure tirée de Hiraga et Al. (1994) présente la locomotion en sortie de boîte de 3 chevaux différents. Le premier cheval effectue ses 7 premières foulées au galop désuni, avant de reprendre un galop à droite classique. Le deuxième alterne entre des foulées justes et des foulées désunies avant de se stabiliser à droite. Le troisième est quant à lui dès le départ au galop à gauche classique.

**Il est conseillé de prendre en compte cette préférence pour adapter l'entraînement et les engagements de chaque cheval.**

### 3 LA RESPIRATION DU CHEVAL, FONCTION DE SON ALLURE

Selon son allure, le rythme respiratoire du cheval est différent. Dès lors, les stratégies respiratoires évoluent en fonction de l'allure et de la vitesse.

#### Au trot

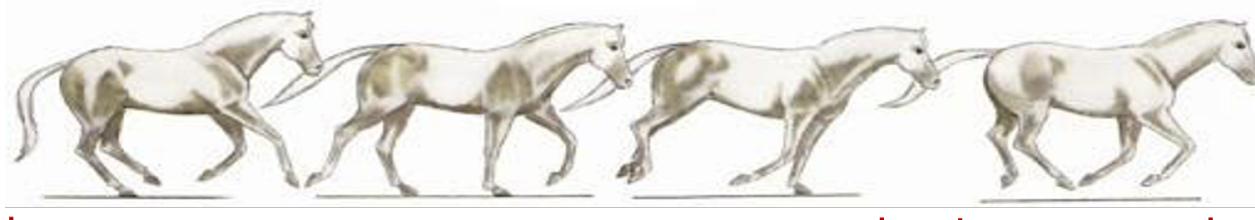
La respiration au trot est une respiration volontaire. Elle n'est pas basée sur l'alternance posée - projection : le cycle respiratoire est indépendant du mouvement. Comme les humains lors d'une course, les chevaux sont capables d'inspirer et d'expirer sur plusieurs foulées. Cela permet aux trotteurs de pouvoir adapter leur rythme respiratoire à leur besoin et à leur vitesse. Ainsi, ils peuvent s'économiser durant les phases souples, en diminuant leur rythme respiratoire et peuvent très fortement augmenter leur apport en oxygène durant les phases intenses, en augmentant leur rythme respiratoire. En contrepartie, l'effort nécessaire à l'inspiration-expiration est accru, ils doivent contracter leurs muscles afin de faire entrer l'air et de l'expulser.



#### Au galop

Au galop, la respiration s'effectue en cadence du mouvement des membres. Le cheval inspire pendant son temps de suspension et expire au contact du sol. Cette synchronisation ne varie que très peu avec la vitesse ou la fatigue, elle se fait mécaniquement.

Ainsi, le galopeur ne peut véritablement adapter sa respiration à l'intensité de son effort car son rythme respiratoire est nécessairement calqué sur le rythme de ses foulées. Il ne peut jouer que sur le volume d'air qu'il laisse entrer dans ses poumons. Pour inspirer de l'air plus fréquemment, il n'a pas d'autre choix que d'augmenter sa cadence. En contrepartie, les efforts déployés pour respirer sont diminués. Ainsi, mécaniquement, lorsqu'un cheval a besoin d'augmenter sa fréquence cardiaque, il est obligé d'augmenter sa cadence.



EXPIRATION

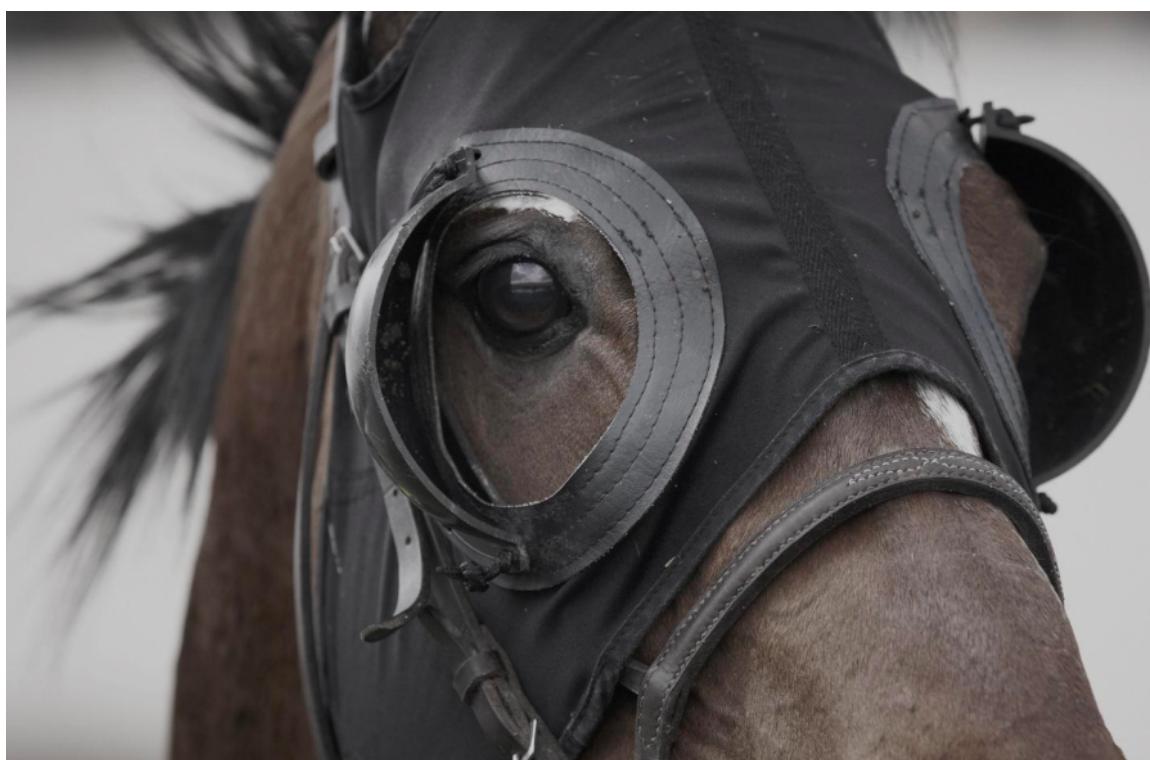
INSPIRATION

*Mécaniquement, lorsqu'un cheval a besoin d'augmenter sa fréquence cardiaque, il est obligé d'augmenter sa cadence.*

## Fitness & profil locomoteur

Une analyse du profil locomoteur d'un cheval conjointement réalisée avec celle de son fitness permet d'optimiser ses performances. Plus un cheval est fit, plus il est en mesure de repousser son seuil aérobie/anaérobie. C'est-à-dire, le moment où les besoins énergétiques pour assumer l'effort dépassent la capacité d'apport en oxygène du système respiratoire. Avec l'entraînement, le cheval est capable de tenir plus longtemps son effort lors de son cycle aérobie. La gestion cardio-respiratoire s'optimise et il peut alors tenir son amplitude plus longtemps, sans avoir à accélérer sa cadence (*au détriment de son amplitude*) pour accélérer sa fréquence respiratoire.

Par ailleurs, cette spécificité respiratoire au galop permet de mettre en place des stratégies afin de s'économiser au cours de la course. En effet, lorsque le cheval change de pied, son temps de projection, donc d'inspiration, est plus long. En changeant de pied, il peut alors reprendre son souffle grâce au bol d'air permis par le temps de suspension allongé et accélérer à nouveau par la suite.



## CHAPITRE 2 | LA LOCOMOTION SOUS LE PRISME DE LA RÉGULARITÉ ET DE LA SYMÉTRIE

Bien que la cadence et l'amplitude soient des paramètres clés, objectiver la locomotion nécessite la mobilisation d'autres outils. En effet, d'autres indicateurs peuvent fournir davantage d'informations quant à la façon de se mouvoir d'un cheval.

- 
- Peut-on comparer les foulées entre elles ?
  - Leur régularité et leur symétrie sont-elles des indicateurs importants ?
  - Quelles peuvent être les conséquences d'un manque de régularité ou de symétrie ?
- 

Les chevaux performants possèdent de bons indices de régularité, signe d'un bon équilibre.

*Toute variation importante d'une séance à l'autre peut constituer une alerte pour l'entraîneur.*

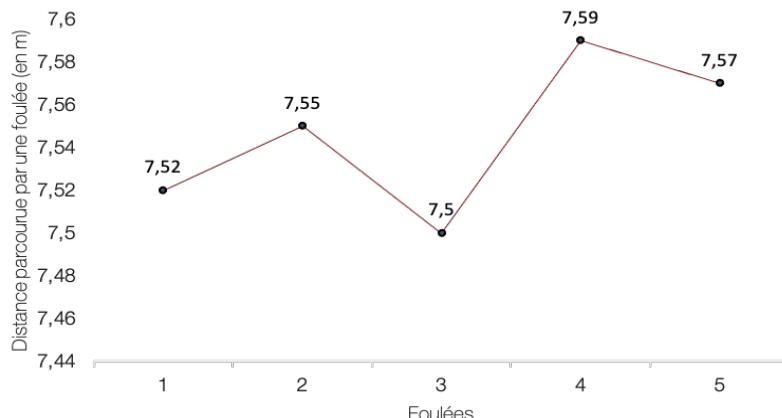


# 1 LA RÉGULARITÉ, GAGE DE QUALITÉ ?

La régularité indique si la cadence de l'allure d'un cheval a beaucoup varié pendant un entraînement.

Si l'on compare une foulée avec la suivante, celles-ci ne sont jamais parfaitement identiques. Deux foulées consécutives n'ont jamais exactement la même amplitude ou la même durée. La régularité permet d'étudier la variation d'amplitude et de cadence d'une foulée avec la précédente.

**Évolution de l'amplitude d'un cheval sur 5 foulées**



Ainsi en comparant la distance parcourue par 5 foulées de galop consécutives, il apparaît que deux foulées n'ont jamais exactement la même taille bien que restant d'amplitude proche. Sur cet exemple, l'amplitude serait de 7m54 (en effectuant la moyenne de toutes ces valeurs) or, aucune foulée ne fait exactement 7m54.

***Plus les foulées sont différentes les unes des autres, plus le cheval dépense de l'énergie.***

En effet, le manque de régularité d'une allure complique son maintien, et induit un manque d'efficacité. Les chevaux performants possèdent de bons indices de régularité, signe d'un bon équilibre.

La régularité d'un cheval évolue avec son âge, ses entraînements et est donc témoin de l'amélioration de sa coordination. À vitesse élevée, il est plus difficile pour le cheval de maintenir sa régularité lorsqu'il approche ses limites.



Régularité, cadence et amplitude sont étroitement reliées : une augmentation de la cadence entraîne une augmentation de la régularité. En effet, les foulées étant plus courtes et s'enchaînant à un rythme plus soutenu, cela oblige le cheval à les maintenir de façon quasi-identique afin de maintenir l'allure. À l'inverse, plus les foulées sont grandes, plus la régularité baisse dans la mesure où cela induit un mouvement éloigné du centre de gravité du cheval, que ce dernier ne peut que difficilement contrôler.

## 2 LA SYMÉTRIE, SYNONYME DE PERFORMANCE ?

La symétrie ne peut être définie qu'au trot. En effet, elle compare les mouvements du diagonal droit avec ceux du diagonal gauche. Au galop, les deux diagonaux n'effectuant pas les mêmes mouvements, la symétrie ne peut être calculée.

Les chevaux étant gauchers ou droitiers, la poussée des postérieurs n'est pas identique à gauche et à droite, du fait de la dissymétrie de leur musculature. Au trot, les deux diagonaux doivent propulser le cheval vers l'avant à tour de rôle et sont donc soumis à la force du postérieur associé pour effectuer le mouvement.

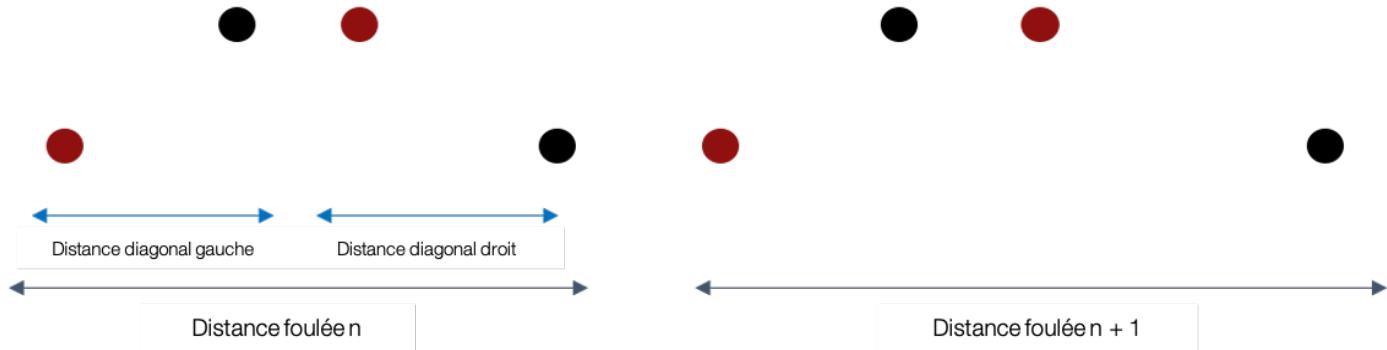
La symétrie mesure la variation spatiale et temporelle qu'il existe entre le mouvement du diagonal droit et celui du diagonal gauche. Dans l'idéal, les deux diagonaux parcourent la même distance et donnent lieu à un temps de planer identique. En pratique cela n'est jamais vérifié. L'écart antérieur-postérieur est variable de même que les temps de suspension, les temps de pose et les distances parcourues. Tout comme la régularité, la symétrie s'améliore avec l'âge et l'entraînement du cheval.

### IMPORTANT

*Un manque de symétrie mène à une usure prématuée des membres et des sabots dans la mesure où le cheval doit en permanence compenser l'asymétrie de l'allure.*

Les chevaux peu symétriques ont tendance à manquer d'équilibre, notamment dans les courbes. Il est fréquent d'observer une baisse de symétrie à vitesse élevée. Les trotteurs sont moins symétriques montés que attelés (LELEU, GLORIA, RENAULT and BARREY, 2010).

Les chevaux présentant des défauts de symétrie sont en moyenne moins performants et plus sujets à des blessures.



La régularité contrôle la différence de distance entre une foulée et sa précédente. La symétrie contrôle la différence de distance entre le diagonal droit et le diagonal gauche.

### 3 LES DÉFAUTS DE RÉGULARITÉ ET DE SYMÉTRIE

Un suivi régulier de la symétrie et de la régularité permet de mieux connaître ses chevaux, de vérifier leur progression ou de détecter des douleurs. Il faut cependant bien garder à l'esprit qu'un cheval n'est jamais parfaitement symétrique ou régulier. Chaque cheval étant droitier ou gaucher, il possède naturellement une asymétrie. De plus, une foulée ne se répique jamais en tout point identique car de nombreux paramètres physiques sont à prendre en compte. Il s'agit de comparer un cheval avec lui-même ou avec un autre et non avec une valeur arbitraire.

Un entraînement bien mené doit permettre d'améliorer la symétrie des chevaux en favorisant une musculature harmonieuse et en cherchant à atténuer les disparités naturelles. Il est à cet effet utile de savoir quel cheval est droitier et quel cheval est gaucher afin de pouvoir adapter les exercices et préserver le moral des chevaux.

Ainsi, il est pertinent de suivre l'évolution de ces deux paramètres. Outre l'assurance d'un travail équilibré, cela permet de détecter en avance d'éventuelles blessures.

En cas de blessure, afin de soulager le membre douloureux, l'allure se modifie pour reporter du poids sur les membres sains. Toute variation importante d'une séance à l'autre est une alerte pour l'entraîneur. En fonction du ressenti de l'entraîneur et de l'historique vétérinaire du cheval, des données objectives de symétrie et de régularité nourrissent la décision d'investiguer une éventuelle blessure et fournissent des informations précieuses au vétérinaire le cas échéant.

Ainsi, l'entraînement mène à une amélioration de la symétrie et de la régularité. Suivre ces valeurs et les comparer dans le temps permet donc de détecter rapidement un problème et de vérifier l'efficacité des travaux.

# CHAPITRE 3 | STRATÉGIES LOCOMOTRICES

## ET PARCOURS DE COURSE

La locomotion du cheval est fortement influencée par le terrain sur lequel il se déplace. Un cheval de course ne se déplace pas de la même façon sur un sol profond, dur, pentu, ou plat. La qualité du terrain ainsi que le type de piste sont des facteurs déterminants de la stratégie de vitesse en course. Lors d'une course ou d'un entraînement, il est possible d'évaluer l'impact des virages, de la pente, ainsi que de la qualité du sol sur l'amplitude et la cadence du cheval.

### 1 LES VIRAGES

Le travail en ligne droite et le travail en courbe sont deux exercices distincts. Dans un virage, l'effort est plus important pour le cheval. En effet, la force centrifuge le tire vers l'extérieur. Pour maintenir sa trajectoire à l'intérieur du virage, le cheval doit fournir davantage d'effort et adapter sa locomotion.

---

**Pourquoi les courbes impliquent-elles une modification de la locomotion ?**

**Comment l'amplitude et la cadence sont-elles modifiées ?**

**L'entraînement en courbe doit-il être favorisé ?**

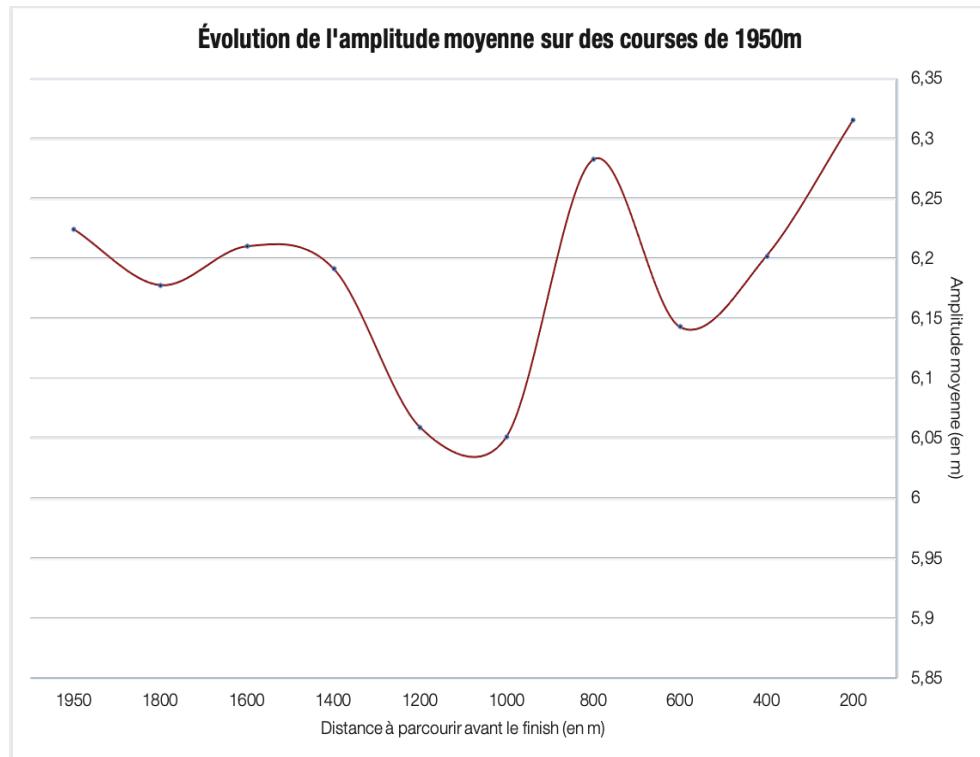
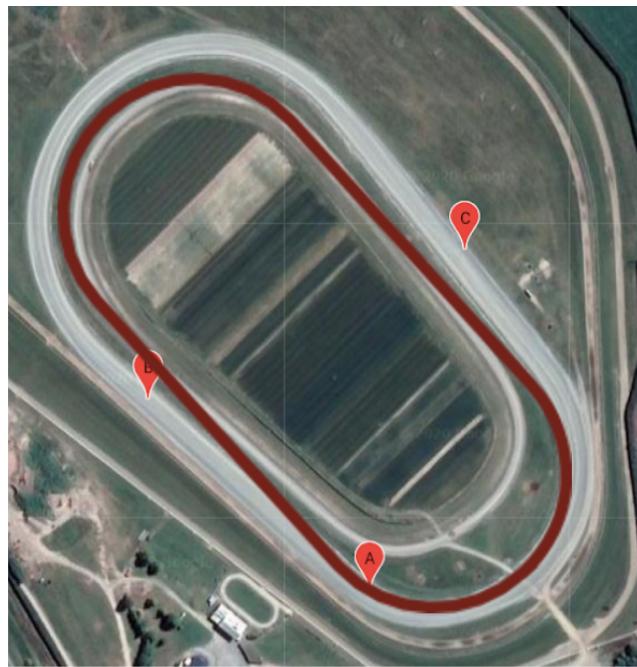
---

#### Rétablissement de l'équilibre

Lors d'un virage, la force centrifuge perturbe l'équilibre : le cheval modifie sa locomotion afin de ne pas glisser et chuter. L'antérieur positionné à l'intérieur du virage est alors soumis à une pression plus élevée que l'antérieur extérieur. Tous les muscles du côté intérieur du cheval sont particulièrement sollicités afin d'éviter que le cheval ne s'effondre dans le virage.

#### Réduction de la vitesse

Il a été prouvé que la vitesse d'un cheval de course tend à diminuer lors des virages. En effet, les chevaux devant fournir un effort plus intense sont contraints de ralentir pour tenir tout au long de la course. L'amplitude diminue fortement tandis que la variation de la cadence est moins importante. Les muscles, soumis à un effort plus intense, ne sont plus assez puissants pour maintenir une amplitude égale à celle en ligne droite.



À l'entraînement, le travail des virages apparaît alors pertinent. Cet exercice permet de développer une musculature spécifique et d'entraîner le cheval à adapter sa locomotion.

## 2 LA PENTE

Que ce soit à l'hippodrome ou sur les pistes d'entraînement, il existe toujours un dénivelé plus ou moins marqué.

**Pourquoi le cheval adapte-t-il sa locomotion dans les pentes ?**

**Comment cette modification est-elle perçue dans les données ?**

**L'entraînement en terrain varié est-il bénéfique pour les chevaux ?**

Qu'elles soient ascendantes ou descendantes, les pentes induisent nécessairement une modification de la locomotion du cheval.

### Pente ascendante

Dans les montées, l'effort demandé au cheval est plus important que sur un terrain plat : il doit vaincre la gravité qui tend à empêcher sa progression. Plus le degré de la pente est élevé, plus l'effort est intense.

L'amplitude du cheval diminue fortement en raison du surcroît de force nécessaire à parcourir la même distance que sur le plat.

Si le cheval dépense une énergie égale, sa cadence et son amplitude seront plus faibles en montée que sur un terrain plat. En revanche, si le cheval accélère en montée, il augmente sa cadence, mais son amplitude reste la même.

L'entraînement des chevaux en pentes ascendantes permet de travailler sur un effort important sans atteindre la vitesse maximale. **Le cheval développe sa puissance et sa musculature.**

### Pente descendante

À l'inverse, dans les descentes, le principal enjeu est de maîtriser l'équilibre du cheval. L'avant-main subit une surcharge du poids du cheval. L'entraînement en descente n'est pas nécessairement recommandé car aucune démonstration n'a été faite quant à l'amélioration possible sur ce type d'exercice. Certains scientifiques avancent l'hypothèse que de tels entraînements pourraient mener à des blessures.

	Gait	Distance meters	Time min	Pace km/h	Average HR bpm	Average tilt %	Stride Length meters	Stride Freq. stride/s
▼ 7	Galop	1370	01:55.0	42.9	139	1.6	5.3	2.34
		170	00:14.0	43.7	135	-6.3	5.87	2.27
		200	00:15.3	47.0	134	-3.5	5.80	2.27
		200	00:15.6	46.0	133	-1.5	5.74	2.24
		200	00:16.0	45.0	132	2.6	5.38	2.26
		200	00:15.0	48.0	147	8.0	5.41	2.49

	Gait	Distance meters	Time min	Pace km/h	Average HR bpm	Average tilt %	Stride Length meters	Stride Freq. stride/s
▼ 8	Galop	1460	02:17.0	38.4	196	1.4	5.3	2.16
		60	00:17.0	12.7	143	-4.4	1.96	1.64
		200	00:18.0	40.0	191	-5.4	5.51	2.06
		200	00:17.5	41.1	205	-2.9	5.56	2.08
		200	00:17.5	41.1	212	-1.0	5.42	2.10
		200	00:16.3	44.1	217	3.0	5.59	2.19
		200	00:15.6	46.0	221	8.6	5.33	2.36
		200	00:15.6	46.0	188	6.4	5.29	2.44
		200	00:19.3	37.2	157	2.6	5.26	2.03

## Cas concret

Dans l'exemple suivant, l'exercice mené commence en pente descendante, continue sur un faux plat avant de terminer sur une pente ascendante. Il a été demandé aux chevaux d'accélérer dans la montée. Dans un premier temps, on remarque que les chevaux atteignent leur amplitude maximale sur le faux plat, à la fin de la descente. Cependant, ils sont contraints de la réduire lors de la montée en raison de l'effort demandé aux muscles. Avec l'augmentation de leur cadence, ils sont obligés d'accélérer légèrement. Aucun des deux chevaux n'est capable de maintenir son amplitude.

Concernant la cadence, s'ils sont tous deux en mesure de l'augmenter pour accélérer dans la montée, la descente peut se révéler plus compliquée à négocier. Les données montrent que le cheval numéro 1 diminue sa cadence afin de rétablir son équilibre.

Il est possible d'expliquer la diminution de l'amplitude lors de la pente plus douce (passage de 8,6 à 6,4%) par un « effet de fatigue » : les muscles mis à rude épreuve durant le passage à 8% ont besoin d'un peu plus de temps avant d'être capables de fonctionner normalement.

## 3 LE TERRAIN

Les virages et les pentes influencent la vitesse et la locomotion des chevaux de course. Nous pouvons également ajouter à ces paramètres l'influence du sol sur lequel le cheval progresse. En Europe, les pistes sont principalement en gazon ou en synthétique. Les pistes d'entraînement quant à elles peuvent être en sable.

---

**Quelles sont les caractéristiques des différentes pistes ?**

**Pourquoi le cheval modifie-t-il sa locomotion selon le terrain ?**

**Comment l'amplitude et la cadence varient selon le type de sol ?**

---

### Les pistes en herbe

Les pistes en herbe dépendent fortement des conditions météorologiques : la température et les précipitations influencent leur qualité. Lorsque les circonstances sont optimales, elles favorisent le bon amortissement des foulées, un temps de pose court et des pointes de vitesse remarquables.

### Les pistes synthétiques

Les pistes synthétiques connaissent très peu de variation avec la météo, cependant leur qualité est loin d'égaler celle des pistes naturelles.

### Les pistes dures

Les pistes particulièrement dures favorisent la propulsion du cheval avec une moindre dépense d'énergie. Le cheval développe alors une amplitude importante et une cadence élevée. Les pistes trop dures ne sont pas toujours celles qui permettent d'obtenir les vitesses les plus importantes. Les chocs n'étant pas amortis, cela peut être douloureux pour les chevaux.

### Les pistes profondes

Les pistes profondes quant à elles mettent en difficulté la progression des chevaux. Leur vitesse est alors diminuée du fait de la réduction de la cadence et de l'amplitude.

Le type de sol sur lequel le cheval évolue influence donc non seulement sa vitesse mais aussi sa locomotion. De manière générale, à vitesse constante, plus un sol est dur, plus les foulées vont être longues. À l'inverse, plus le sol est profond, plus la durée d'une foulée est courte.

Etat du terrain	Cadence moyenne	Amplitude moyenne
Léger	2,38	7,62
Bon	2,37	7,53
Bon / Souple	2,37	7,47
Souple	2,33	7,28
Collant	2,32	7,02

Ce tableau présente la cadence et l'amplitude moyenne des courses de galop en fonction de la profondeur des pistes en herbe. L'amplitude et la cadence sont donc corrélatées à la qualité de la piste. Cadence comme amplitude diminuent lorsque la profondeur augmente : les chevaux courent moins vite dans la boue que sur un terrain très dur.

# CHAPITRE 4 | LOCOMOTION ET APTITUDES PHYSIQUES

En course, la vitesse d'un cheval est l'élément déterminant de sa réussite. Cependant, tous les chevaux ne courent pas de la même façon. Chacun a une foulée qui lui est propre et qui définit ses aptitudes physiques. La vitesse résulte de l'amplitude et de la cadence.

Comprendre comment la locomotion du cheval évolue avec la vitesse revient donc à comprendre comment varient l'amplitude et la cadence.

---

**L'amplitude et la cadence évoluent-elles de façon identique ?**

**Comment les chevaux adaptent-ils leur amplitude et leur cadence à une vitesse donnée ?**

**Qu'est ce qui caractérise un bon cheval ?**

---

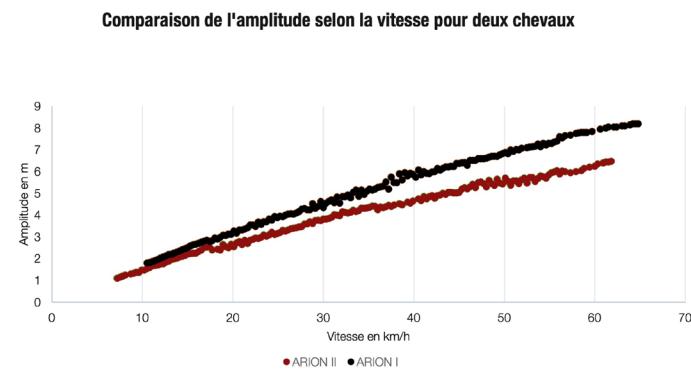
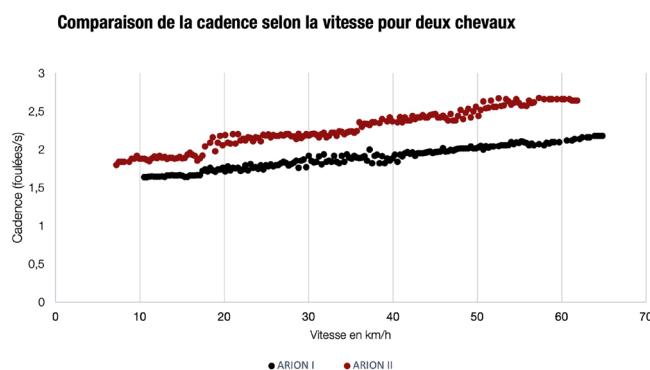


# 1 LA LOCOMOTION, SOURCE DE LA VITESSE

Pour atteindre une certaine vitesse, la cadence du cheval augmente linéairement avec la vitesse. La cadence varie de la même manière selon la vitesse à atteindre.

Contrairement à la cadence, l'amplitude n'évolue pas linéairement. Son évolution dépend de la vitesse considérée, et sera plus importante pour les faibles vitesses.

Chaque cheval est unique et son profil locomoteur est une aide précieuse pour connaître son potentiel et adapter les décisions d'engagement. Chacune des courbes ci-dessous décrit la manière dont le cheval accélère en faisant varier la durée et la taille de ses foulées. Elles représentent l'amplitude et la cadence en fonction de la vitesse et sont propres à chaque cheval.



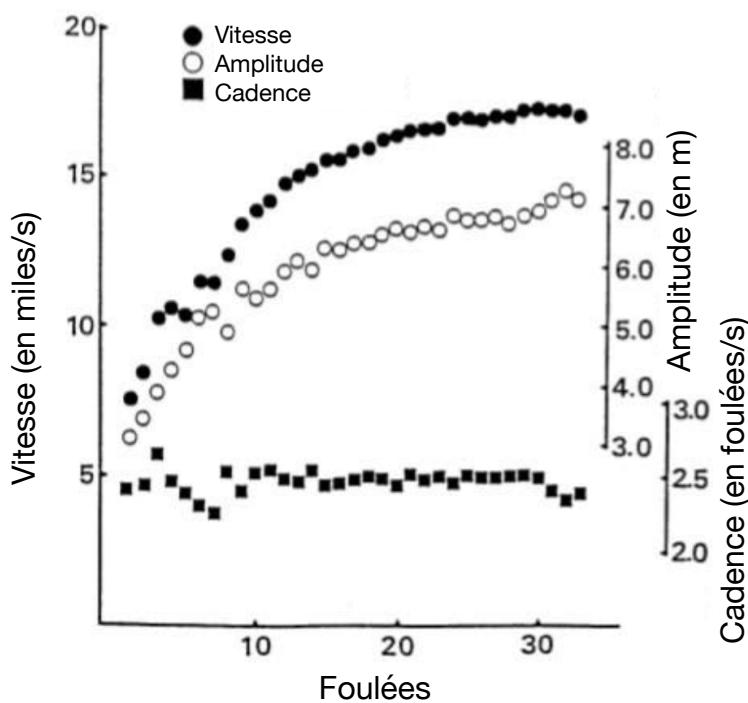
Nous avons comparé deux chevaux monitorés à l'entraînement avec Equimetre. Ces deux chevaux possèdent des profils locomoteurs différents.

On constate que Arion I a une cadence élevée, tandis que Arion II travaille davantage en amplitude.

## 2 STRATÉGIES D'ACCÉLÉRATION ET LOCOMOTION

Durant une course, les chevaux sont soumis à de nombreux changements de rythme. Ces changements peuvent être expliqués par des variations de terrain, de train de course ou à une volonté du jockey. Cela incite les chevaux à adapter en permanence leur locomotion. Ils doivent être en mesure d'accélérer ou de ralentir suivant les circonstances. Idéalement, ces variations s'effectuent rapidement, en dépensant un minimum d'énergie. Le cheval s'adapte en modulant d'abord sa cadence, puis ses foulées, afin d'atteindre le couple cadence-amplitude pour lequel il est le plus à l'aise à cette vitesse.

Le graphique suivant (*HIRAGA, YAMANOBE et KUBO, 1994*) montre l'évolution de la cadence et de l'amplitude pour les 30 premières foulées au départ d'une course. Il est clair que si la cadence atteint dès le début sa valeur nominale, l'accélération se fait grâce à l'augmentation progressive de l'amplitude durant les 20 premières foulées avant de se stabiliser à sa valeur nominale.



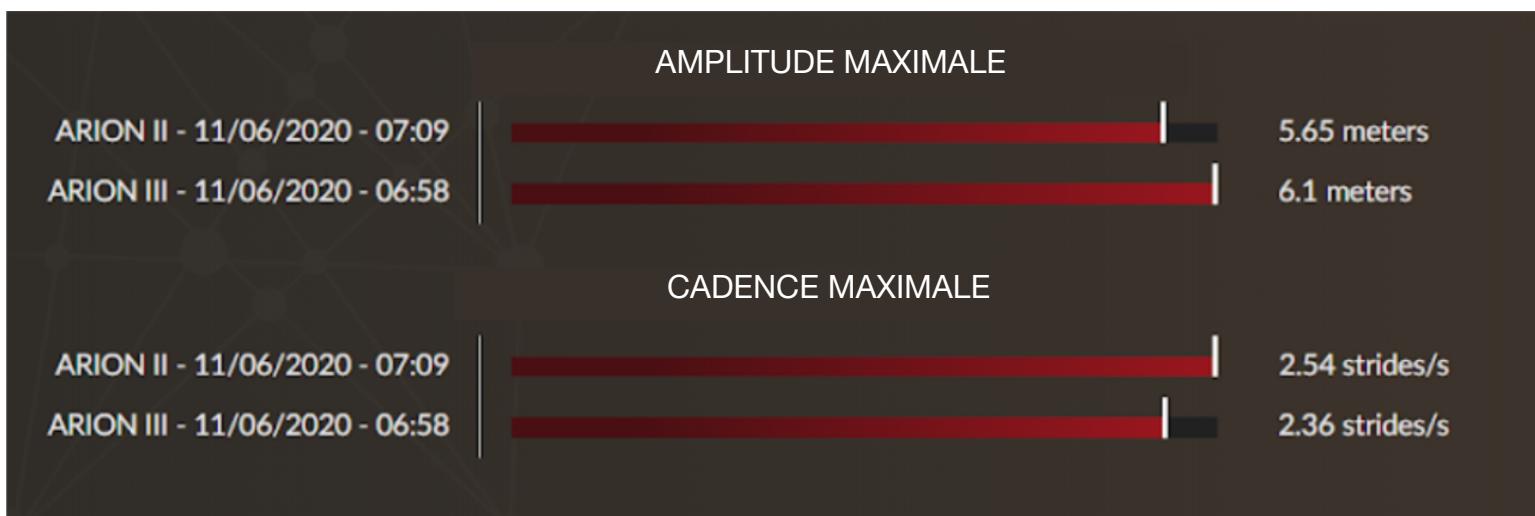
Modification de la vitesse, de la cadence et l'amplitude à la sortie des boîtes de départ

### FUN FACT

*Quand le cavalier stimule le cheval avec une cravache, on observe une réduction de la longueur des foulées et une augmentation de la fréquence de celles-ci. Cependant la vitesse n'est pas significativement influencée. L'utilisation de la cravache agit sur la stratégie locomotrice du cheval plutôt que sur la vitesse. (Deuel and Lawrence, 1988)*

En étudiant les données d'entraînement de plusieurs chevaux, on constate que selon leur rythme, la cadence et l'amplitude ne varient pas de la même manière. Lors des phases de décélération, la cadence a tendance à être moins élevée pour une même vitesse que lors des phases d'accélération. Cela est bien sûr inversé pour l'amplitude qui est plus élevée durant la décélération.

Dans les phases de courses où la vitesse varie peu, les chevaux adoptent spontanément le couple cadence-amplitude qu'ils préfèrent. Deux chevaux progressent à la même vitesse en ayant des cadences et des amplitudes différentes. Un cheval peut privilégier une grande amplitude mais une durée de foulée plus longue (*cadence plus faible*). À l'inverse, il peut adopter une foulée très rapide mais peu ample.



*Exemple de variation d'amplitude et de cadence selon le profil du cheval pour une même vitesse - Données de la plateforme EQUIMETRE*

Dans cet exemple, Arion II galope à  $v=5,65 \times 2,54=14,3$  m/s (51,5 km/h) tandis que Arion III galope aussi à  $v=5,65 \times 2,54=14,3$  m/s.

Néanmoins ces deux chevaux ont des stratégies complètement différentes : Arion II priviléie la cadence et Arion III l'amplitude.

### 3 COMMENT DÉTECTOR DES FUTURS PERFORMEURS GRÂCE AUX PARAMÈTRES LOCOMOTEURS ?

Avec le trio : cadence, amplitude, vitesse, il peut sembler que plus un cheval a une grande amplitude et une grande cadence, plus il est rapide et performant. Or cela n'est pas nécessairement le cas. En effet, ce n'est pas parce qu'un cheval possède une vitesse de pointe élevée qu'il va gagner. Il est préférable de choisir une stratégie en adéquation avec le profil locomoteur du cheval.

---

**Qu'est ce qu'une bonne foulée ?**

**Quels sont les points de référence parmi les grands champions ?**

**Comment tirer le maximum d'un cheval en fonction de son profil locomoteur ?**

---

En dehors des paramètres théoriques de la cadence et de l'amplitude, des scientifiques ont réussi à mettre en lumière des points communs aux chevaux dont l'efficacité des foulées est optimale.

Il s'agit surtout de déterminer la manière dont le cheval pose ses membres.

#### **Parmi eux :**

- » Un faible temps de contact au sol
- » Une faible oscillation verticale
- » Une grande distance parcourue durant la phase de vol
- » Une dissociation du diagonal plus importante
- » Une diminution du temps où deux membres sont posés ensemble

L'idée selon laquelle un bon cheval a nécessairement une amplitude importante est un mythe. Si en effet, Secretariat ou Black Caviar possèdent des amplitudes à 8m20 et 8m50 respectivement, celle de Winx n'est mesurée qu'à 6m8. En revanche, sa cadence est tout à fait remarquable : elle peut effectuer jusqu'à 2,8 foulées par seconde ! Sur certaines distances, une cadence très rapide est un véritable atout.



En fonction du profil locomoteur de chaque cheval, la distance d'engagement mais aussi la stratégie de course diffèrent. Pour un cheval possédant une grande amplitude, il peut être pertinent de lancer le sprint de loin afin de lui permettre d'atteindre sa vitesse maximale en lui laissant le temps d'augmenter la taille de ses foulées au maximum.

En revanche, si sa cadence est très élevée, il est préférable d'attendre le dernier moment. La vitesse maximale sera atteinte rapidement et un sprint commencé trop tôt risque d'épuiser le cheval.

Ainsi, une grande amplitude n'est pas « meilleure » qu'une grande cadence. Il s'agit d'utiliser au mieux les points forts de chaque cheval.

Les variations d'amplitude et de cadence s'effectuent selon la vitesse souhaitée. Cette évolution représente le profil locomoteur. La préférence pour le travail en cadence plutôt qu'en amplitude comporte peu d'importance tant que les engagements et stratégies de courses sont adaptés.

# CHAPITRE 5 | OPTIMISER LA GESTION D'UNE COURSE GRÂCE À LA LOCOMOTION

Bien qu'ils soient en condition physique maximale, les chevaux peuvent ressentir une fatigue passagère et connaître une baisse de performance.

Une diminution importante des réserves énergétiques, une fatigue musculaire ou bien une accumulation d'acide lactique dans le muscle peuvent être à l'origine d'une fatigue passagère.

Le système cardio-respiratoire se doit de continuer à assurer l'approvisionnement en oxygène du corps et des muscles. La fréquence cardiaque atteint alors son maximum pendant un temps important. Au fur et à mesure de la course, en fonction de la distance, les chevaux adoptent des stratégies locomotrices variées afin d'optimiser leurs efforts en fonction de leur fatigue musculaire et respiratoire.

---

**Comment évoluent la cadence et l'amplitude tout au long de la course ?**

**Existe-t-il des différences de locomotion suivant la distance de la course ?**

**Comment repérer un cheval grâce à la locomotion ?**

---



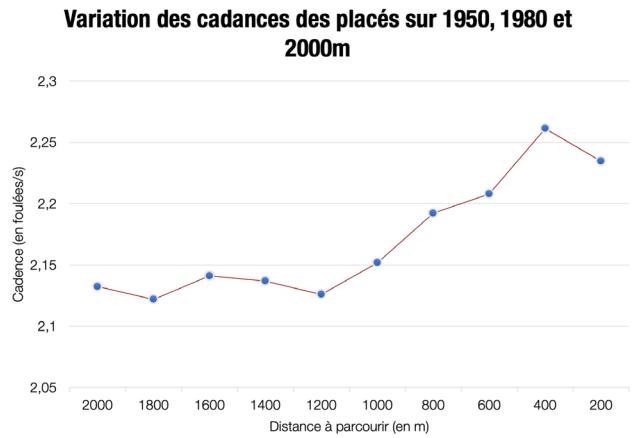
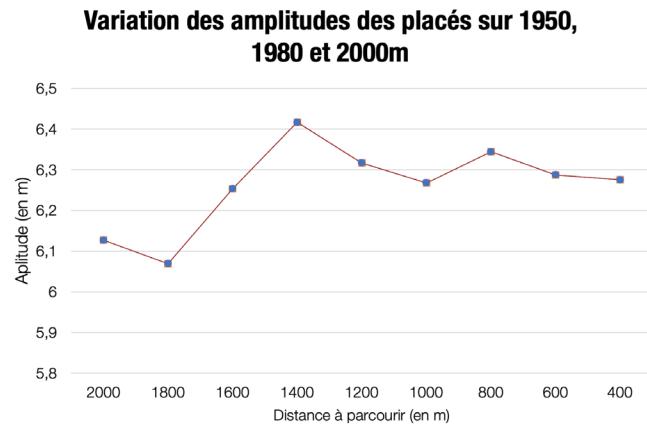
## 1 COMMENT LES CHEVAUX ADAPTENT-ILS LEUR LOCOMOTION AU COURS D'UNE COURSE ?

Maintenir une cadence élevée requiert un système cardio-respiratoire efficace, notamment au galop où la respiration suit le même rythme que celui des foulées. Lorsque la cadence d'un cheval augmente, c'est-à-dire lorsque la fréquence de ses foulées accélère, sa respiration suit le rythme des foulées. Sur des courses de longue distance, maintenir une cadence élevée tout au long de la course en conservant un souffle suffisant est particulièrement difficile. Le cheval doit alors maintenir un rythme respiratoire très élevé, pouvant provoquer un essoufflement prématué.



Pour maintenir une vitesse importante sur de longues distances, le cheval s'appuie sur la taille de ses foulées. Une grande amplitude est moins exigeante pour le système cardio-respiratoire. Néanmoins, les muscles doivent être préparés à cet effort car ils sont davantage sollicités en puissance. Lors des derniers 200m, si le cheval en est encore capable, il essaie de sprinter en augmentant sa cadence et son amplitude. Cette situation idéale peut ne pas être respectée en course, au regard du type de terrain, du train et de la position en course.

Lors d'un changement de vitesse pendant la course, les chevaux ont tendance à s'adapter à ce nouveau rythme en modifiant leur cadence. En effet, il est plus rapide d'augmenter ou de réduire la durée d'une foulée plutôt que sa taille.



Sur l'exemple suivant, il est possible d'étudier la locomotion des trotteurs ayant fini dans les 3 premiers sur des courses de 1950, 1980 et 2000m. La cadence moyenne et l'amplitude moyenne pour chaque intervalle de 200m ont été tracées. Ainsi, les chevaux baissent leur cadence et leur amplitude après le départ : une fois bien positionnés, ils maintiennent un train de course, pour augmenter fortement leur amplitude dans les 400 derniers mètres afin de prendre l'avantage. En revanche, s'ils sont capables d'augmenter dans un premier temps leur cadence, ils ne sont pas en mesure de la maintenir jusqu'au bout : après avoir accéléré en cadence, ils se reposent sur leur amplitude pour s'assurer une place au finish.

## 2 À CHAQUE DISTANCE SA STRATÉGIE LOCOMOTRICE

En fonction de la distance de la course, les vitesses sont différentes. Les courtes distances imposent aux chevaux de donner leur maximum et d'accélérer très fortement sur les 200 derniers mètres. Les courses plus longues demandent une gestion plus poussée des capacités du cheval afin de préserver ses forces jusqu'à la fin de la course.

La distance d'une course influence la vitesse de celle-ci et donc la locomotion. Cependant, à vitesse égale, la stratégie locomotrice gagnante diffère en fonction de la distance. Les 200 derniers mètres sont notamment très impactés par la distance du parcours.

Afin de comparer la locomotion de deux chevaux ayant couru des courses de distances différentes, il est important de s'intéresser à la cadence et à l'amplitude atteintes à vitesse égale.

Plus la distance augmente pour une même vitesse, plus les chevaux ont tendance à réaliser de grandes foulées en réduisant leur cadence. Cela leur permet de soulager leur système cardio-respiratoire mis à rude épreuve par l'intensité de l'effort.

Il est tout à fait normal d'observer une cadence supérieure lors de courses de courte distance : atteindre une amplitude maximale nécessite un temps de mise en place plus long. Ainsi, sur de petites distances, les chevaux de course se reposent principalement sur une cadence élevée afin d'atteindre une vitesse élevée.

À partir d'une base de données de Nouvelle-Zélande, l'équipe Arioneo a tracé la moyenne des cadences et amplitudes des chevaux classés au trot attelé sur certaines distances. Afin de pouvoir effectuer des comparaisons, la locomotion analysée est atteinte à 50km/h.

Distance	Cadence moyenne à 50km/h	Amplitude moyenne à 50km/h
1600	2,36	5,93
2000	2,25	6,16
2400	2,24	6,16
2600	2,22	6,23
3200	2,20	6,23

Entre 1600 et 3200m la cadence baisse de 7% tandis que l'amplitude augmente de 7%. Conformément à ce qui était attendu, la cadence diminue avec la distance afin de souager l'appareil cardio-respiratoire tandis que l'amplitude augmente pour maintenir une vitesse conséquente.

Distance	Cadence moyenne à 60km/h	Amplitude moyenne à 60km/h
< 1200	2,38	7,17
1600 - 1800	2,31	7,25
2000 - 2200	2,29	7,26
2400 - 2600	2,29	7,30
> 3000	2,27	7,28

Ce tableau récapitule la cadence et l'amplitude moyenne des galopeurs à 60km/h selon la distance de course. Il est possible de noter qu'une nouvelle fois, la cadence moyenne diminue lorsque la distance augmente. La réciproque est vérifiée puisque l'amplitude augmente avec la distance.

Les chevaux possédant une cadence élevée ont plus de chance de gagner sur de plus courtes distances. À l'inverse, les chevaux possédant un amplitude élevée sont plus performants sur des longues distances

La distance de course influence le finish. En fonction de cette longueur, la locomotion dans les 200 derniers mètres est nettement différente. Lors d'une course longue, les muscles peuvent être fatigués par l'effort fourni. Certains chevaux produisent de l'acide lactique. Ce déchet produit par l'organisme entraîne une diminution des performances en contrignant les chevaux à diminuer leur amplitude afin de soulager leurs muscles. Dans certains cas, il est impossible pour eux d'augmenter la taille de leurs foulées dans les 200 derniers mètres.

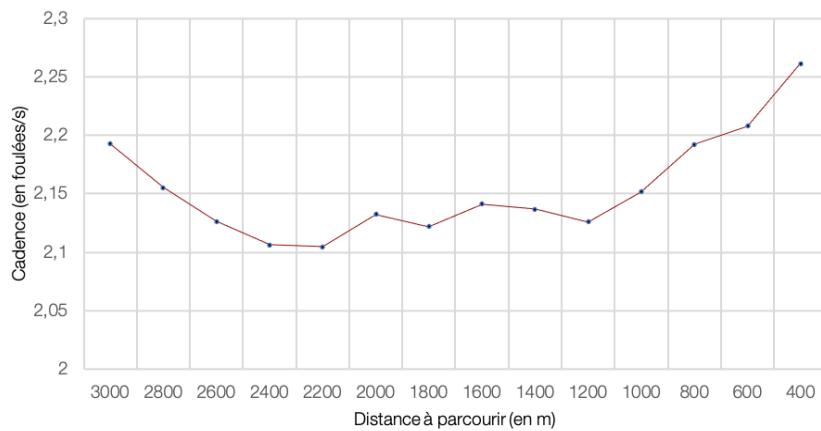
Les meilleures chevaux de course sont capables d'accélérer en augmentant uniquement leur cadence. En effet, leur système cardio-respiratoire est en mesure de s'adapter rapidement à l'effort exigé.

La distance de la course influence ainsi la cadence et l'amplitude d'un cheval. Au fur et à mesure de la course, le cheval adapte sa locomotion selon le niveau de fatigue ressentie.

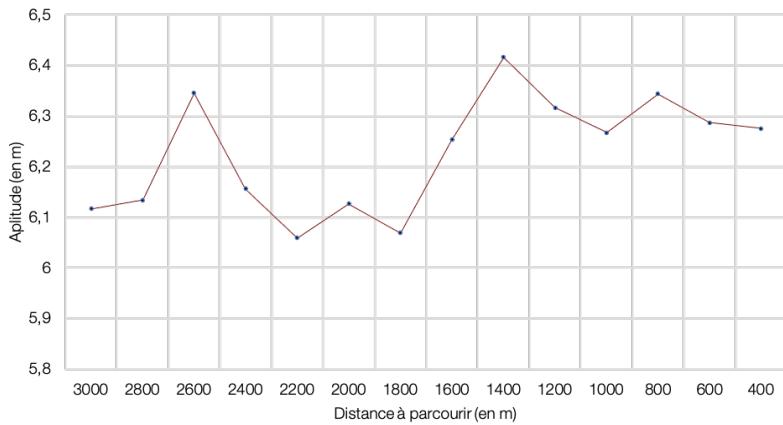
***La fatigue est donc la pierre angulaire de l'adaptation de la locomotion pour les chevaux de courses.***



### Variation des cadances des placés sur 3200m



### Variation des amplitudes des placés sur 3200m



Nous observons une diminution de la cadence dès le début de la course. Une fois placés, les chevaux économisent leur énergie, ils stabilisent leur cadence. Les légères variations sont expliquées par la présence de virages. Aux 800m, ils accélèrent le train de course tel qu'en atteste l'augmentation soudaine de la cadence. Bien que l'amplitude ne soit pas encore modifiée, elle conserve une valeur haute.

Enfin, dans les 200 derniers mètres, la cadence augmente fortement tandis que l'amplitude s'effondre. Les chevaux attendent le dernier moment pour accroître leur cadence car leurs muscles sont plus fatigués que lors d'une course rapide. Le train de course avant les derniers 600m, n'est que peu élevé : la différence entre les chevaux s'effectue au finish où seuls les plus performants tiennent leur cadence jusqu'à la ligne d'arrivée.



### 3 QUEL EST L'IMPACT DE LA FATIGUE SUR LA LOCOMOTION D'UN CHEVAL EN COURSE ?

Outre les modifications d'amplitude et de cadence qui interviennent suivant la durée et l'intensité de la course, d'autres paramètres sont aussi affectés par l'effort. Si une fatigue liée au cardio du cheval peut influencer sa cadence, une fatigue musculaire induit d'autres adaptations pouvant être à l'origine de blessures.

Lorsque les muscles accumulent trop de déchets organiques (*notamment de l'acide lactique*), ils perdent en efficacité. Le manque d'oxygène prive le cerveau d'une ressource précieuse. Les chevaux ne sont plus en mesure de maintenir une foulée régulière car le système nerveux n'est plus assez oxygéné pour continuer à réguler l'organisme. Ils sont de plus soumis à des trébuchements ou poses de pied erratiques. Les muscles ne plus capables de faire face aux irrégularités du terrain. Cela se traduit par une baisse de régularité et de symétrie chez les trotteurs.

Afin de répartir leur effort, il est fréquent de voir les galopeurs changer de pied. Par exemple, galoper à droite sollicite davantage le diagonal droit, les muscles y sont plus à l'effort.

Ainsi, le cheval change de pied au fil de la course afin de reposer successivement les deux diagonaux et de créer une fatigue uniforme sur les muscles de ses antérieurs. Il est rare qu'un cheval tienne toute la course sur le même pied de galop.

Par ailleurs, l'inspiration survient lors de la phase de projection du galop. Lors d'un changement de pied, cette phase de projection est légèrement plus longue et permet « un bol d'air » nécessaire pour marquer une coupure pendant la course.

***Un changement de pied est donc l'occasion d'apporter un surplus d'oxygène réduisant la fatigue cardio-respiratoire.***

Les chevaux adaptent leur cadence et leur amplitude au fil de la course. Une cadence élevée permet d'atteindre rapidement une vitesse maximale mais sollicite le cœur. Une amplitude élevée fait travailler les muscles et économise le souffle.



Les données d'entraînement de ce cheval montrent une très nette perte de cadence dans les derniers 200m. Il n'a pas été capable de maintenir son effort jusqu'au bout bien que son amplitude soit restée constante.

# CHAPITRE 6 | ANALYSER LA LOCOMOTION

## POUR PRÉVENIR LES RISQUES DE PATHOLOGIES

Analyser la locomotion de ses chevaux permet de détecter des blessures ou des signes avant-coureurs de pathologies. En effet, si une gêne est présente, le cheval adapte sa façon de se déplacer afin de soulager sa douleur.

---

**Comment les données collectées par EQUIMETRE permettent-elles de détecter une douleur locomotrice ?**

**Quelles situations nécessitent une vigilance de la part des entraîneurs ?**

---

**END OF THE TRAINING**



# 1 DÉTECTOR LES BLESSURES ET LES BOITERIES NAISSANTES

Réussir à diagnostiquer une douleur avant qu'elle ne se transforme en blessure est l'un des principaux objectifs d'EQUIMETRE. Suivre les valeurs de symétrie, de régularité, de cadence et d'amplitude permet d'effectuer un suivi longitudinal et complète l'analyse de la fréquence cardiaque.

**Comment sont modifiés les paramètres locomoteurs suite à une douleur ?**

**Comment les données de régularité et de symétrie évoluent-elles ?**

## L'augmentation de la cadence : un avertissement intéressant

### Le suivi de la symétrie pour détecter une future boiterie :

Un cheval qui souffre modifie ses allures et sa locomotion dans le but de soulager son membre blessé. L'objectif est de limiter les efforts supportés par ce membre, en termes de durée et de poids supporté.

Afin de réduire le temps d'appui, le membre n'est posé qu'un bref instant avant d'être soutenu. Un cheval qui souffre compense en reportant son poids de l'autre côté. Il n'est donc plus symétrique.

Une augmentation de la cadence peut être synonyme de douleur. En effet, si un membre est dououreux, le cheval ne mettra pas toute la puissance nécessaire à la tenue d'une bonne amplitude, et il devra donc faire des foulées plus fréquentes pour tenir la vitesse demandée. En plus de cela, la symétrie et la régularité se dégradent. Au trot, la dégradation de la symétrie est particulièrement frappante. Le diagonal du membre blessé a un temps de pose très réduit en comparaison de celui n'étant pas blessé. Les deux diagonaux n'effectuent plus le même travail. La régularité quant à elle apporte moins d'indications. Ainsi, surveiller la valeur de symétrie d'un jeune cheval permet de connaître sa valeur de référence et de pouvoir surveiller un début de gêne.

Toute anomalie de cadence ou amplitude devrait être investiguée. Un cheval blessé réduit son amplitude afin de diminuer la force exercée sur ses appuis. Pour accélérer, il privilégie donc l'augmentation de sa cadence en essayant de limiter au maximum son amplitude (Barrey, Auvinet and Couroucé, 1995). Si à une vitesse donnée, la cadence est beaucoup plus élevée qu'à l'accoutumée, cela peut être le signe d'un problème sous-jacent qu'il serait pertinent d'investiguer si la situation ne s'améliore pas.

## 2 PRÉVENIR LES RISQUES GRÂCE À UN ENTRAÎNEMENT ÉQUILIBRÉ

Il existe des situations pour lesquelles certaines locomotions peuvent représenter un risque. Connaître ces situations et quels chevaux sont plus susceptibles d'être atteints permet une meilleure gestion des risques.

**Au galop, comment la corde peut-elle être un risque suivant la latéralisation des chevaux ?**  
**Pourquoi une grande amplitude naturelle est-elle un facteur de risque ?**

### Corde VS pied de galop préféré

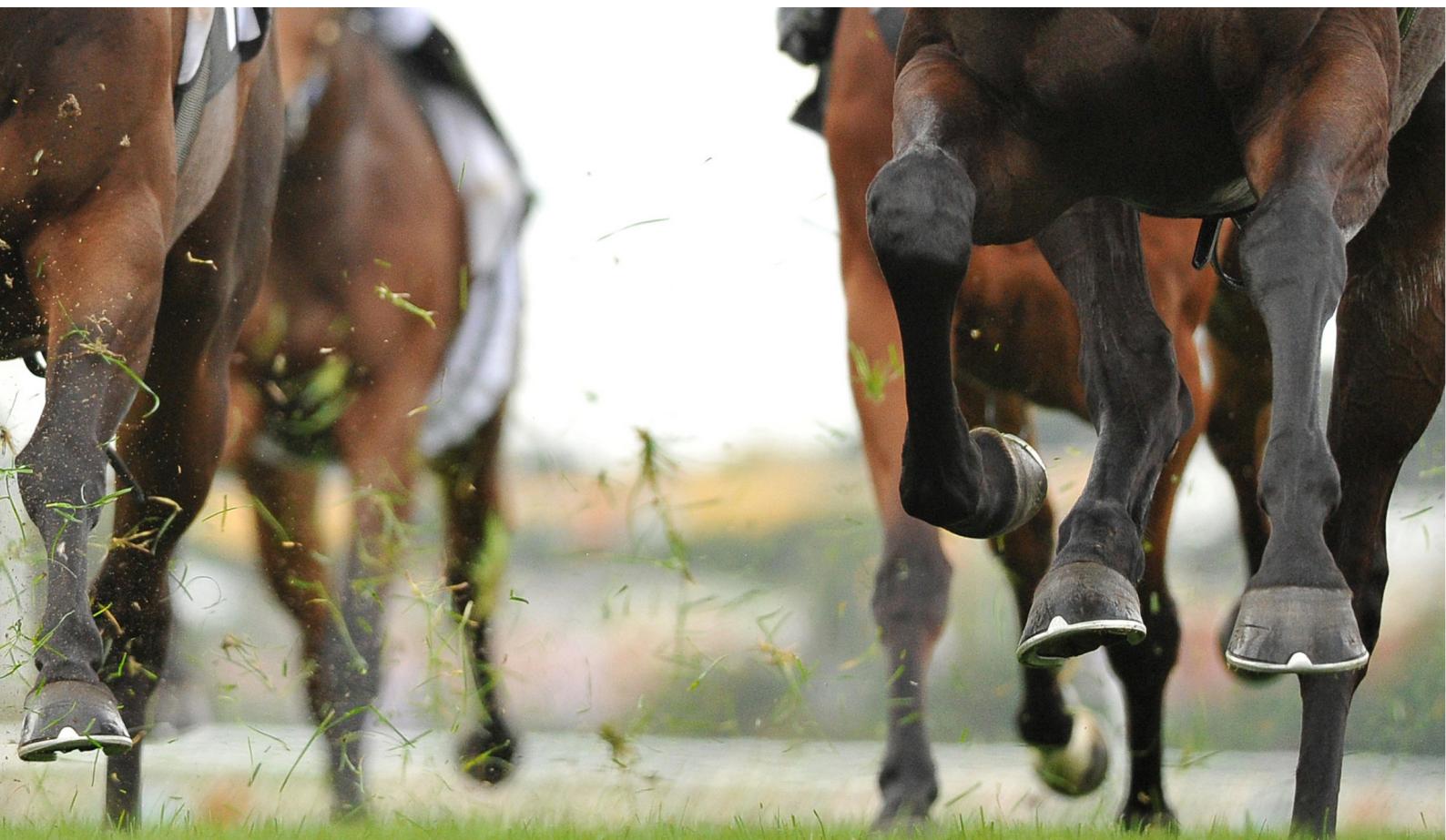
Nous avons vu que chaque cheval avait un pied de galop privilégié. L'antérieur associé à ce côté est donc plus entraîné que l'autre dans la mesure où le cheval galope plus souvent dessus.

Cet antérieur est ainsi moins fragile car plus musclé (Rooney, 1983). Or, l'antérieur de galop est soumis à beaucoup plus de contraintes et cela est particulièrement vrai dans les virages (Cogger *et al.*, 2006). Ainsi dès que le cheval change de pied pour être du côté où il est le moins à l'aise, son risque de blessure est accru. Faire courir un cheval droitier sur une piste corde à gauche présente aussi plus de danger que si le cheval avait été gaucher. Durant le virage à gauche, l'antérieur gauche subira des contraintes plus fortes que l'antérieur droit.

Cependant, son antérieur gauche est aussi plus fragile que le droit et une blessure pourrait subvenir.



Les grandes amplitudes naturelles nécessitent une musculature puissante. Bien que bénéfique en course, elle sont à manier avec précaution. Les membres se posant plus loin du corps et plus vite, les forces qui leurs sont appliquées sont aussi plus grandes. Les efforts supportés par les membres sont plus importants. Cela peut accroître le risque qu'une blessure survienne. Il est donc judicieux d'attendre que les jeunes chevaux ou les chevaux qui reprennent l'entraînement aient eu le temps de se muscler correctement avant de leur demander des vitesses trop importantes.



# CHAPITRE 7 | OPTIMISER LE TRAVAIL LOCOMOTEUR PAR L'EXPLOITATION DES DONNÉES

## 1 QUEL CHOIX DE DISTANCE EN FONCTION DU PROFIL LOCOMOTEUR ?

Les paramètres de cadence et d'amplitude ont un impact immédiat sur la fatigue ressentie par le cheval. Il est donc possible de déterminer sur quelles courses faire courir les chevaux en observant leur profil locomoteur.

**En quoi la locomotion influe-t-elle sur les stratégies d'engagement ?**

**Comment déterminer la distance optimale d'un cheval grâce à son profil locomoteur ?**

**Quelles stratégies adopter durant le finish ?**

La cadence et l'amplitude ne sollicitent pas les mêmes filières énergétiques. Si la cadence permet des accélérations brusques, une cadence élevée ne peut être soutenue longtemps.

En revanche, l'amplitude nécessite plus de temps pour se développer. Une fois atteinte, le cheval a moins de difficultés à maintenir une foulée ample. Le profil locomoteur est ainsi primordial afin de faire les meilleurs choix d'engagement selon la distance.

Au moment de choisir les engagements, une distinction doit être faite entre locomotion au train de course, qui influe sur le choix d'engagement, et la locomotion maximale qui influe sur la stratégie durant le finish. La première chose à connaître est l'allure de la course visée. En moyenne, cette dernière se situe autour de 65 km/h au galop et 1m12s par kilomètre au trot. Il s'agit ensuite de déterminer la cadence et l'amplitude du cheval à cette vitesse.

Une comparaison de ses valeurs de référence permet alors d'avoir une indication pré-

cise de la distance la plus adaptée.

Si la cadence est trop élevée par rapport à la distance, le cheval risque de fatiguer très vite et sera en difficulté pour finir la course. Il est important de garder à l'esprit qu'un cheval est forcé d'adopter une cadence et une amplitude qui sont trop éloignées des siennes si le train de course est trop éloigné de celui avec lequel le cheval est confortable. Il peut alors fatiguer de manière excessive pour un exercice qui devrait lui être facile.

## 2 STRATÉGIE DE COURSE ET GESTION DE LA LOCOMOTION

Afin d'élaborer une stratégie gagnante durant les 600 derniers mètres, la connaissance des valeurs maximales de cadence et d'amplitude, de même que des valeurs de locomotions au train de course fournit de précieux indices. Il s'agit tout d'abord de connaître la cadence et l'amplitude du cheval lorsqu'il atteint sa vitesse maximale.

En comparant ces valeurs avec les valeurs moyennes durant le finish des courses visées, il est possible de savoir si le cheval a une meilleure amplitude ou une meilleure cadence que les autres concurrents. Les chevaux avec une meilleure cadence pourront se permettre d'attendre le dernier moment pour lancer le sprint car ils atteindront rapidement leur vitesse maximale tandis que les chevaux avec une grande amplitude devront être lancés de plus loin afin de pouvoir atteindre leur vitesse maximale.

Ces valeurs doivent cependant être pondérées par l'écart entre les valeurs maximales et les valeurs de course. Si l'écart entre l'amplitude maximale et l'amplitude de course est élevé, il est judicieux d'augmenter la distance de sprint. Dans le cas contraire, elle peut être raccourcie.

Selon l'effort demandé, le cheval augmente préférentiellement sa cadence ou son amplitude. Étudier la cadence et l'amplitude d'un cheval au train de course permet d'apporter une aide précieuse afin de choisir les distances d'engagement. La cadence et l'amplitude maximale sont déterminantes dans l'élaboration de la stratégie de finish.

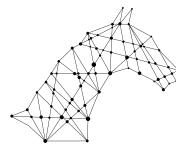
Prenons l'exemple de deux chevaux aux profils locomoteurs complètement différents, ARION I et ARION II.

	ARION I	ARION II
Cadence à 60km/h	2,5	2,1
Amplitude à 60 km/h	6,65	7,9
Cadence maximale	2,7	2,2
Amplitude maximale	6,85	8,3

En comparant les valeurs à 60km/h de ARION I et ARION II avec les moyennes de course, il apparaît qu'ARION I a une cadence très élevée qui devrait l'avantager lors de courses très courtes. En revanche, ARION II, à lui une cadence très faible qu'il compense par une grande amplitude. Les courses plus longues devraient être en sa faveur.

Distance	Cadence moyenne à 60km/h	Amplitude moyenne à 60km/h
< 1200	2,38	7,17
1600 - 1800	2,31	7,25
2000 - 2200	2,29	7,26
2400 - 2600	2,29	7,3
> 3000	2,27	7,28

Une fois la distance choisie, la stratégie de finish va être différente. ARION I a une amplitude maximale très proche de son amplitude de course (moins de 20cm d'écart), il peut donc attendre avant de lancer le sprint et garder le rythme en augmentant sa cadence. Pour ARION II, au contraire, son amplitude maximale est éloignée de son amplitude de course, d'où l'intérêt de lancer le sprint de loin afin de lui permettre de déployer ses foulées.



# ARIONEO

## EQUIMETRE

Technologie équine dédiée à l'entraînement du cheval de course

### CARDIO



FRÉQUENCE  
CARDIAQUE  
RÉCUPÉRATION

### VITESSE



VITESSE  
TEMPS INTERMÉDIAIRES  
GPS

### LOCOMOTION



CADENCE  
AMPLITUDE

### POURQUOI EQUIMETRE ?

- Aide à la prise de décision analyse des aptitudes
- Management de la performance et de la santé
- Investigation de la contre-performance
- Comparaison des chevaux de l'écurie
- Détection de futurs performeurs



“

*Le samedi j'aime bien équiper Skaletti d'Arioneo pour avoir un point d'appui en plus de l'opinion de son cavalier qui le connaît par cœur et de mon œil qui commence à bien le connaître puisque je l'observe maintenant depuis plusieurs années. C'est très utile de pouvoir se référer à des données chiffrées et confirmer ce que l'on pense du cheval.*

Jérôme Reynier  
Top 10 des entraîneurs en France en 2020

”



### CONTACTEZ UN MEMBRE DE L'ÉQUIPE

Valentin Rapin - Directeur Commercial  
+33 6 86 60 27 12  
valentin@arioneo.com

## ANALYSE DE LA LOCOMOTION - L'ESSENTIEL



### LE PROFIL LOCOMOTEUR DU CHEVAL DE COURSE

On appellera "Profil locomoteur" le couple cadence/amplitude d'un cheval à une vitesse donnée (60 km/h pour les galopeurs). Si le profil locomoteur est plus ou moins orienté vers la cadence ou l'amplitude, les aptitudes en course seront différentes. Le profil locomoteur offre de nombreuses informations afin d'adapter la stratégie de course selon la distance de prédilection et la gestion de la vitesse durant la course.

	Sprinter	Miler > 1600m	Stayer > 2400m
Cadence (foulées par seconde)	Plus de 2.43	Moins de 2.4	Moins de 2.35
Spécificités	Une fréquence de foulée élevée permet d'atteindre plus rapidement la vitesse maximum qu'une foulée longue mais peu fréquente.	La vitesse étant obtenue grâce à une foulée plus longue, les chevaux qui auront des aptitudes locomotrices propres aux plus longues distances se distinguent par une amplitude élevée et une cadence basse qui permet de tenir la longueur.	



### STRATÉGIES LOCOMOTRICES ET PARCOURS DE COURSE

#### Les virages

Dans une courbe, l'effort demandé au cheval est plus important que lors d'une ligne droite. Les chevaux sont sujets à une force centrifuge les tirant vers l'extérieur du virage. Pour rester à l'intérieur du virage et ne pas perdre de temps, le cheval doit alors fournir un effort plus intense. Afin de rétablir son équilibre naturel, le cheval adapte sa locomotion, expliquant ainsi pourquoi l'effort est de nature plus intense.

#### La pente

Dans les montées, l'effort demandé au cheval est plus important que sur le plat : il doit vaincre la gravité qui tend à empêcher sa progression. Plus la pente est raide plus cet effort sera intense. Les pentes induisent des modifications de la locomotion. À l'inverse, dans les descentes, le principal enjeu est de maîtriser l'équilibre. Ceci est rendu difficile car dans un souci d'efficacité, les chevaux de course font peser beaucoup de poids sur leur avant-main qui se retrouve alors très surchargée durant les descentes. L'amplitude diminue fortement en raison du surcroît de force nécessaire à parcourir la même distance que sur le plat.



### ANALYSER LA LOCOMOTION POUR PRÉVENIR DES RISQUES DE PATHOLOGIES

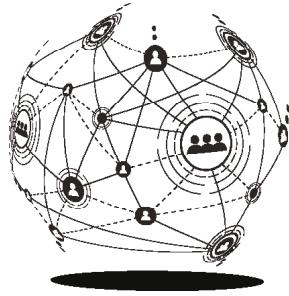
**Analyser la locomotion** de ses chevaux permet de détecter des blessures ou des signes avant-coureurs de pathologies. En suivant les valeurs de symétrie, de régularité, de cadence et d'amplitude vous pourrez **effectuer un suivi longitudinal** et compléter l'analyse de la fréquence cardiaque.

La modification des allures du cheval peut être un signe de souffrance dû à une blessure. Par exemple, l'augmentation de la cadence des foulées d'un cheval peut être le signe d'une douleur chez celui-ci.

# L'AVIS D'EXPERT

**Dr Emmanuelle van Erck**

**Docteur vétérinaire, spécialiste européenne en médecine interne équine.  
Equine Sports Medicine Practice, Belgique**



La performance sportive n'est pas le fruit du hasard. Elle est le résultat d'une préparation physique optimale et d'un excellent état de santé. La révolution technologique de ces 20 dernières années a bouleversé notre approche du sport, quelle que soit la discipline athlétique considérée. Les objets connectés ont permis aux athlètes et à leurs entraîneurs de mesurer objectivement la réponse du corps à l'effort physique, de savoir si l'athlète en faisait trop ou trop peu et dans quelle mesure l'entraînement pouvait être optimisé, à la fois pour améliorer la performance mais aussi éviter les blessures.

Arioneo a développé EQUIMETRE, un système inédit de mesure et de suivi de la performance physique du cheval. Contrairement aux autres objets connectés, EQUIMETRE permet d'intégrer de très nombreux paramètres sportifs, tout en offrant une lecture simple de l'exercice. L'entraîneur a à sa disposition le suivi du parcours et la vitesse du cheval, mais également, intervalle par intervalle, sa locomotion et sa fréquence cardiaque. La qualité des mesures est telle que celles-ci peuvent être exploitées pour établir un diagnostic d'arythmie cardiaque sur base de l'électrocardiogramme enregistré.

La stratégie d'entraînement dépend du niveau de forme et de la récupération après le travail et la compétition. EQUIMETRE permet d'évaluer la récupération à court et à moyen terme, donnant des informations sur l'état de fatigue du cheval et son aptitude à progresser. Les paramètres mesurés peuvent être comparés d'un travail à l'autre, de semaine en semaine. L'entraîneur a ainsi les moyens d'évaluer concrètement les progrès du cheval à l'entraînement, de comparer cet individu à lui-même et aux autres chevaux de l'effectif. Des milliers de mesures acquises chez des chevaux de différents profils ont permis de comprendre comment chaque cheval répondait différemment à son entraînement et d'adapter la difficulté du travail à chaque athlète, en fonction de ses capacités. Ainsi, chez un cheval répondant facilement et rapidement au travail, l'entraîneur peut en toute sécurité faire le choix d'intensifier les exercices et d'optimiser l'état de forme du cheval.

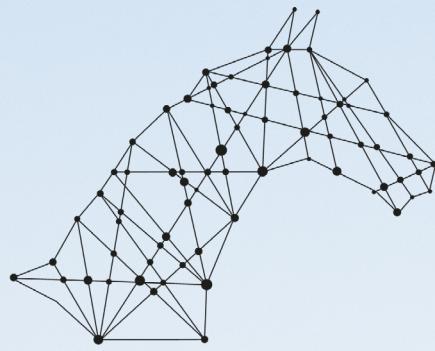
Du fait de ses caractéristiques originales, EQUIMETRE est destiné non seulement à être un outil de suivi de l'entraînement mais également un outil en médecine du sport, utile au suivi de la santé de l'athlète. Les mesures permettent d'établir si le cheval a travaillé dans les limites de ses capacités physiques. Si ses capacités ont été dépassées, est-ce le résultat d'un manque de qualité ou une éventuelle faiblesse liée à un problème de santé qui évolue à bas bruit ? Le concept est de permettre à l'entraîneur de réagir immédiatement et de prévenir problèmes et lésions avant leur occurrence. Chez un cheval qui aurait une blessure ou une affection avérée, EQUIMETRE permet d'accompagner la période de revalidation, de déterminer si les délais de récupération et les modalités de rétablissement sont respectés. Ceci évite de reprendre le travail trop précocement et d'évoluer au rythme du travail du cheval.

**«EQUIMETRE d'Arioneo s'établit comme un partenaire de la santé et de la performance du cheval.»**



## BIBLIOGRAPHIE

- Barrey, E., Auvinet, B. and Couroucé, A., 1995. Gait evaluation of race trotters using an accelerometric device. *Equine Veterinary Journal*, 18, pp.156-160.  
In text : (Barrey, Auvinet and Couroucé, 1995)
- Cogger, N., Perkins, N., Hodgson, D., Reid, S. and Evans, D., 2006. Risk factors for musculoskeletal injuries in 2-year-old Thoroughbred racehorses. *Preventive Veterinary Telemedecine*, 74, pp.36-43.  
In text : (Cogger et al., 2006)
- Cully, P., Nielsen, B., Lancaster, B., Martin, J., McGreevy, P. 2018. The laterality of the gallop gait in Thoroughbred racehorses. *PLoS ONE* 13(6): e0198545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198545>  
In text : (Cully et al., 2018)
- Eaton, M., Evans, D., Hodgson, D. and Rose, R., 1995. Effect of treadmill incline and speed on metabolic rate during exercise in thoroughbred horses. *Journal of Applied Physiology*, 79(3), pp.951-957.  
In text : (Eaton, Evans, Hodgson and Rose, 1995)
- ELY, E., PRICE, J., SMITH, R., WOOD, J. and VERHEYEN, K., 2010. The effect of exercise regimens on racing performance in National Hunt racehorses. *Equine Veterinary Journal*, 42, pp.624-629.  
in text : (ELY et al., 2010)
- FONSECA, R., KENNY, D., HILL, E. and KATZ, L., 2010. The association of various speed indices to training responses in Thoroughbred flat racehorses measured with a global positioning and heart rate monitoring system. *Equine Veterinary Journal*, 42, pp.51-57.  
in text : (FONSECA, KENNY, HILL and KATZ, 2010)
- HIRAGA, A., YAMANOBE, A. and KUBO, K., 1994. Relationships between Stride Length, Stride Frequency, Step Length and Velocity at the Start Dash in a Racehorse. *Journal of Equine Science*, 5(4), pp.127-130.  
In text: (HIRAGA, YAMANOBE and KUBO, 1994)
- LELEU, C., GLORIA, E., RENAULT, G. and BARREY, E., 2010. Analysis of trotter gait on the track by accelerometry and image analysis. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), pp.344-348.  
in text : (LELEU, GLORIA, RENAULT and BARREY, 2010)
- Leleu, C., Cotrel, C. and Barrey, E., 2005. Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred trotters. *Livestock Production Science*, 92(1), pp.39-46.  
In text: (LELEU, GLORIA, RENAULT and BARREY, 2010)
- Parkes, R., Weller, R., Pfau, T. and Witte, T., 2019. The Effect of Training on Stride Duration in a Cohort of Two-Year-Old and Three-Year-Old Thoroughbred Racehorses. *Animals*, 9(7), p.466.  
In text : (Parkes, Weller, Pfau and Witte, 2019)
- Parsons, K., Pfau, T. and Wilson, A., 2008. High-speed gallop locomotion in the Thoroughbred racehorse. I. The effect of incline on stride parameters. *Journal of Experimental Biology*, 211(6), pp.935-944.  
In text : (Parsons, Pfau and Wilson, 2008)
- Rooney, J., 1983. Impulse and breakdown on straights and turns in racehorses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 3(4), pp.137-139.  
In text : (Rooney, 1983)
- Self, Z., Spence, A. and Wilson, A., 2012. Speed and incline during Thoroughbred horse racing: racehorse speed supports a metabolic power constraint to incline running but not to decline running. *Journal of Applied Physiology*, 113(4), pp.602-607.  
In text : (Self, Spence and Wilson, 2012)
- Spence, A., Thurman, A., Maher, M. and Wilson, A., 2012. Speed, pacing strategy and aerodynamic drafting in Thoroughbred horse racing. *Biology Letters*, 8(4), pp.678-681.  
In text : (Spence, Thurman, Maher and Wilson, 2012)
- Witte, T., Hirst, C. and Wilson, A., 2006. Effect of speed on stride parameters in racehorses at gallop in field conditions. *Journal of Experimental Biology*, 209(21), pp.4389-4397.  
In text : (Witte, Hirst and Wilson, 2006)
- Zeng, Y., Meng, J., Wang, J., Kong, Q., Li, L., Ge, S., Ren, X., Yao, X. and Liu, W., 2019. Correlation Analysis Between Stride Characteristics and Racing Ability of 2-year-old Yili Horses in Track Conditions. *Journal of Equine Veterinary Science*, 75, pp.19-24.  
In text : (Zeng et al., 2019)



# ARIONEO

HORSE DATA SCIENCE

