



44^{ème} Journée de la Recherche Équine
Jeudi 15 mars 2018

L'accélérométrie comme technique de caractérisation des allures et du style à l'obstacle en liberté ; sa place dans un plan de sélection.

B. Dumont st priest¹, B. Chaigne², C. Ruhlmann¹, F. Guillot¹, L. Gosselin¹, D. Billerey le menn¹, P. Bleteau¹, P. Fontaine¹, N. Maréchal¹, JM. Yvon¹, E. Bezombes², M. Chassot², N. Garcia-Marinez³, S. Danvy¹, A. Ricard^{1,3}

¹ IFCE, Direction Développement et Recherche, La jumenterie du Pin, 61310 EXMES

² SBSF, Stud-Book Selle Français, 56 avenue Henri Ginoux, 92120 Montrouge

³ INRA, Génétique Animale et Biologie Intégrative, Jouy-en-Josas, France

Résumé

L'accélération dans les 3 dimensions a été mesurée au pas, trot, galop monté à 4 et 5 ans (n=1477) et lors du saut en liberté à 3 ans (n=754). L'analyse génétique inclut le sexe, l'âge, le concours, les apparentés (10 907 chevaux pour les allures et 5 651 pour le saut) et la vitesse et la taille (gène majeur détecté) pour les allures. La corrélation génétique avec la compétition a été calculée à partir de tous les ISO depuis 1998 (232 952 chevaux.). L'héritabilité est forte pour le déplacement vertical au trot et au galop (0,53 et 0,41), moyenne pour la puissance horizontale (0,33 et 0,19), faible au pas (<0,16). Le trot et le galop sont génétiquement corrélés (0,56 et 0,73). Au saut, deux stratégies se dégagent : 1) un long temps de planer ($h^2=0,21$) associé à une forte ($h^2=0,13$) poussée des postérieurs 2) une frappe forte et rapide des antérieurs, et une réception marquée. La (seule) corrélation génétique entre performance et allures est -0,22 avec la puissance horizontale, deux corrélations phénotypiques au saut sont trouvées : 0,21 avec le temps de planer, -0,15 avec le temps entre la frappe antérieurs, poussée des postérieurs.

Mots clés: héritabilité, accélérométrie, allures, saut en liberté, performance en CSO

Summary

Acceleration in the 3 dimensions was measured during walk, trot and canter under rider at 4 and 5 years old (n=1477) and free jumping at 3 (n=754). Genetic analysis included sex, age, event, velocity and height at withers for gaits and all the relatives (10,907 horses for gaits and 5,651 for free jumping). Genetic correlation calculation involved all competitors in jumping since 1998 (232 952 horses). Heritability was high for vertical displacement at trot and canter (0.53 and 0.41), moderate for longitudinal activity (0.33 and 0.19) and low for walk (<0.16). Same trot and canter characteristics were genetically linked (0.56 and 0.73). For free jumping, two strategies were detected 1) long airborne phase ($h^2=0.21$) with high hindlimbs acceleration peak ($h^2=0.13$) 2) high forelimbs peak, short time forelimbs/hindlimbs peaks and high peak at landing. Only one genetic correlation between gaits and performance in competition was found: -0.22 with longitudinal activity at canter. The phenotypic correlation between free jumping and performance at 4 was 0.21 with jump time and -0.15 with time between forelimbs and hindlimbs peaks.

Key-words: heritability, gaits, free jumping, jumping competition



Introduction

Le projet SoGen, validé par le Conseil Scientifique et co-financé par l'IFCE, l'INRA et le Fonds Eperon, vise à réaliser une caractérisation fine des chevaux de saut d'obstacles sur le plan de leur morphologie et sur celui de leurs allures afin d'inclure ces nouveaux critères dans le schéma de sélection, de réaliser une analyse génomique améliorant les évaluations génétiques, et éventuellement de repérer des gènes majeurs. Parallèlement, le stud-book du selle-français (SbSf) a mené le projet Caract-SF, co-financé par l'IFCE, qui vise à caractériser le saut en liberté des trois ans en utilisant le même appareillage de mesure des accélérations Equimetrix® que celui utilisé pour les allures dans SoGen. L'objectif de cette présentation est de résumer l'apport des mesures d'accélérométrie sur les allures et sur le saut en liberté dans l'amélioration du cheval de concours hippique.

1 La « phase terrain » de l'action phénotypage

1.1 Caractérisation des allures

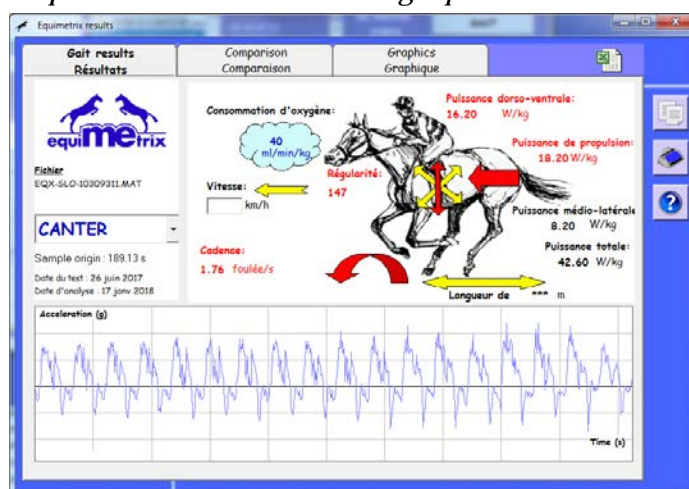
La cible était constituée par les chevaux de sport de quatre ou cinq ans concourant en saut d'obstacles (CSO). Les mesures se sont déroulées sur 16 concours de la Société Hippique Française entre le mois de mai 2015 et le mois de juillet 2016. Afin de ne pas réduire la palette des niveaux génétiques de l'échantillon, ont été étudiés à la fois des chevaux du cycle classique (cavaliers professionnels en majorité) et des chevaux du cycle libre (cavaliers amateurs en majorité). Grâce à une bonne réceptivité de la part des cavaliers, les effectifs réellement mesurés ont été supérieurs à ceux initialement prévus et plus de 1500 chevaux ont été vus.

1.1.1 Le dispositif de mesures

Le boîtier accélérométrique est fixé à la sangle, au point le plus proche du centre de gravité du cheval afin de retracer au mieux les mouvements de celui-ci. Il est demandé au cavalier de réaliser une « reprise » sur une durée d'environ 2 minutes. Le tracé standardisé enchaînait cinq diagonales sur un rectangle d'au moins 60mx20m ; la première au trot de travail, la seconde au trot moyen, la troisième au galop de travail, la quatrième au galop moyen et la dernière au pas. Les chevaux étaient équipés du boîtier de mesures à la fin de leur parcours de CSO. On peut donc considérer qu'ils étaient détendus. En complément, des mesures livrées par le système Equimetrix®, un dispositif de chronométrage enregistrait la vitesse du cheval sur chacune des diagonales. L'identité de chaque cheval était vérifiée avant la prise de mesures par contrôle systématique de sa puce électronique. Sur cette base, les enregistrements étaient référencés via le numéro SIRE du cheval.

Le dépouillement de chaque enregistrement consiste à repérer les séquences de 10 secondes (Figure I) sur lesquelles l'allure est la plus stabilisée (tout ou partie de la diagonale) et d'y associer la vitesse correspondante. Le temps moyen nécessaire au dépouillement est de l'ordre de cinq minutes par cheval (pour les cinq allures).

Figure I : Exemple d'accélérométrie issue du logiciel Equimetrix®. Axe vertical au galop
 Figure I: Example of accelerometer recording Equimetrix®. Vertical axis at canter





1.1.2 Les dimensions enregistrées

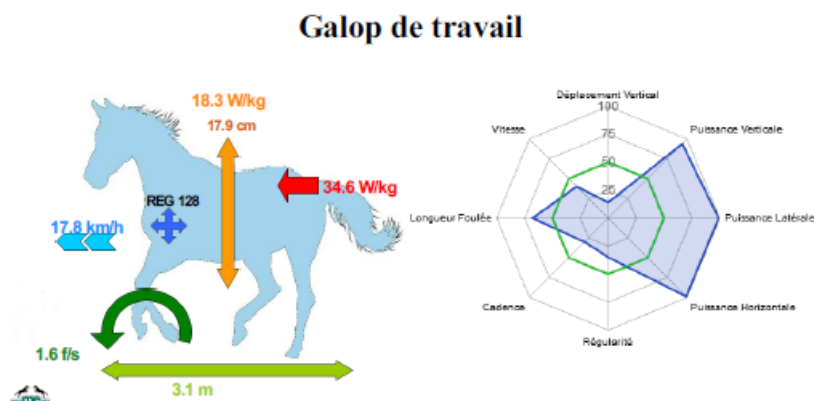
A partir des courbes d'accélération élémentaires sur les trois axes (vertical, horizontal et latéral), Barrey *et al.* (1994, 1995) et Leleu *et al.* (2004) sont définies huit mesures élaborées :

- la **vitesse** (*velocity*, km/h) : distance parcourue par unité de temps.
- la **cadence** (*stride frequency*, f/s) : nombre de foulées réalisées par unité de temps.
- la **régularité** (*regularity*) : mesure de la ressemblance entre toutes les foulées.
- la **symétrie** (*symmetry*) : mesure de la ressemblance entre les demi-foulées droite et gauche.
- le **déplacement vertical** (DV *dorsoventral displacement*, en cm). D'après la variation de l'accélération sur l'axe vertical, il est possible de déduire ce déplacement moyen (rebond).
- la **puissance verticale** (PV *dorsoventral activity* en W/kg). A partir de l'accélération, il est possible de déduire la puissance produite par le cheval pour son déplacement de bas en haut.
- la **puissance horizontale** (PH *longitudinal activity* en W/kg). Puissance mesurée sur l'axe de la trajectoire du cheval pour se propulser ou freiner.
- la **puissance latérale** (PL *lateral activity* en W/kg). Puissance mesurée transversalement au cheval qui n'est pas productive de mouvements utiles dans les 3 allures normales.

1.1.3 La restitution aux éleveurs

Après correction pour les effets d'environnement indépendants de la qualité du cheval (sexe, âge et surtout concours) conformément au modèle développé au point 2, les mesures réalisées sur chaque cheval ont été adressées au détenteur qui avait assuré l'inscription du cheval en concours (éleveur, cavalier ou propriétaire) sous forme de fiches complètes pour les cinq allures (Figure II). Sur la fiche figurent les mesures corrigées et un diagramme en forme d'araignée qui situe les valeurs par rapport à leurs distributions dans l'ensemble de la population (grille des 25%, 50%, 75% et 100% valeurs les plus basses).

Figure II : Restitution des données allures
Figure II: Scheme of data about each gate



1.2 Caractérisation du saut en liberté

Il a été choisi de procéder à des mesures à l'occasion des concours régionaux d'élevage en se concentrant sur ceux réunissant un effectif d'au moins 20 individus par concours. L'opération a débuté à l'automne 2015. Dans la pratique environ 350 chevaux sont mesurés lors de chaque campagne de phénotypage.

1.2.1 Le dispositif de mesures

Avant son entrée dans le rond d'Havrincourt, le jeune cheval est équipé d'un surfaix avec un capteur situé au niveau du passage de sangle. Le protocole habituel des concours de trois ans est respecté : le présentateur accompagne son cheval en main pendant ½ tour du rond puis le lâche. Le dispositif de saut comporte une barre de réglage en sortie de tournant puis un obstacle à deux foulées. Les côtes de l'obstacle vont croissantes en débutant par une croix à 60 cm puis un vertical à 80 cm, un vertical à 1m et un vertical à 1m15. Le vertical est ensuite transformé en oxer sur des côtes qui passent successivement de 0,80x1mx1m à 1mx1m10x1m20.



Pour permettre d'apprécier la constance du cheval dans ses sauts, le dernier oxer a été sauté trois fois par chaque cheval.

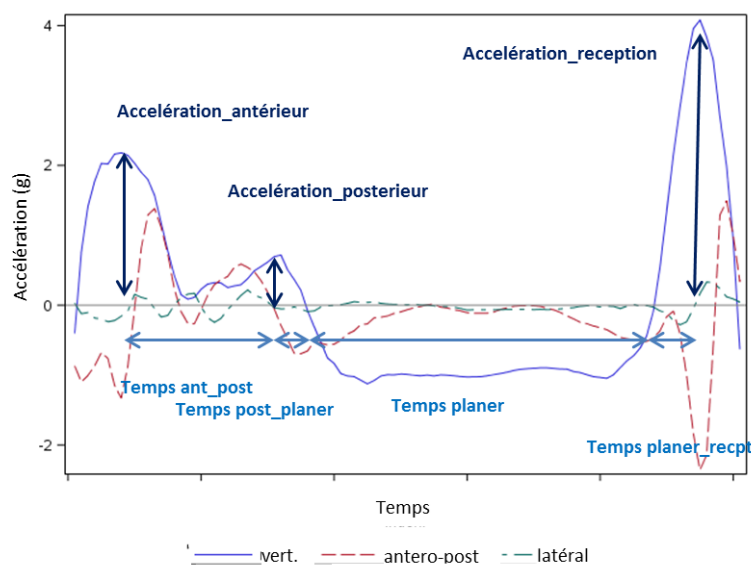
Le dépouillement de l'enregistrement consiste à repérer chacune des phases du saut sur l'accélérogramme. Avec un peu de pratique le dépouillement, sur la base de trois sauts analysés par cheval, est réalisé en environ 10 minutes. Il est parfois nécessaire de visionner l'enregistrement vidéo des sauts pour expliquer certains profils de sauts qui paraissent atypiques.

1.2.2 Les dimensions enregistrées

Les enregistrements d'accélération lors d'un saut sont illustrés Figure III. L'analyse actuelle porte exclusivement sur les accélérations verticales. Chaque saut génère sept variables quantitatives différentes : des valeurs remarquables dans la courbe et les temps écoulés entre ces valeurs remarquables :

- Accélérations (ou forces)
 - L'accélération maximale due à la frappe des antérieurs à la battue d'appel (acc_ant), qui peut être traduite proportionnellement en force.
 - L'accélération maximale due à la poussée des postérieurs à la battue d'appel (acc_post), qui peut être traduite proportionnellement en force.
 - L'accélération maximale due à l'impact des antérieurs à la réception du saut (acc_recep) qui peut être traduite proportionnellement en force.
- Ecart de temps aux différentes phases du saut
 - Le temps entre la frappe maximale des antérieurs et la poussée maximale des postérieurs,
 - Le temps entre la frappe maximale des postérieurs et le début du planer (le cheval quitte le sol, l'accélération devient négative),
 - Le temps de planer (tps_envol). Le temps de planer est traduit à l'aide d'une simple formule de balistique en hauteur de saut ($h=g/2 t^2$ avec g l'accélération de la pesanteur et t le temps de planer). Sur la plage de variation de t , la relation est très linéaire et la corrélation entre le temps de planer et la hauteur de saut est de 0,995. Nous n'avons donc inclus dans les analyses que le temps de planer mais il faut garder à l'esprit sa relation quasi-linéaire avec la hauteur de saut.
 - Le temps entre la fin du planer et le maximum de l'accélération à la réception (tps_plan_recept).
- Pour l'analyse nous avons rajouté une variable élaborée à partir des précédentes :
 - La Balance qui est le rapport entre l'accélération maximale de la poussée des postérieurs/accélération de la frappe des antérieurs à la battue d'appel

Figure III : Définition des mesures élaborées à partir des données d'accélérométrie lors d'un saut d'un oxer.
Figure III: Variables defined from accelerometer measurement in free jumping oxer.

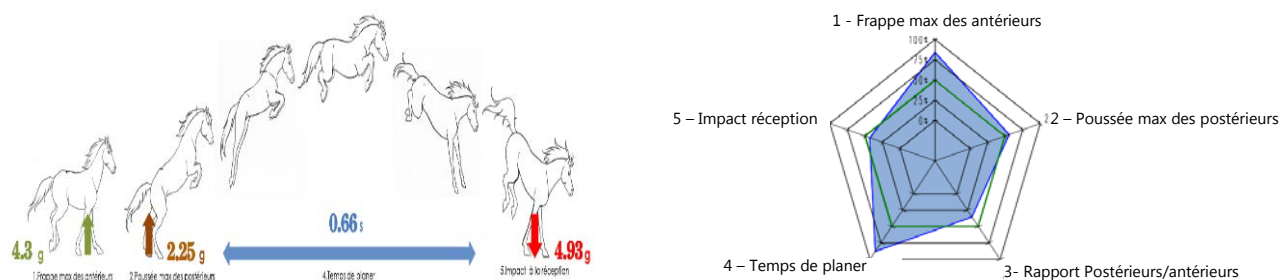




1.2.3 La restitution aux éleveurs

Comme pour l'accélérométrie des allures, les résultats individuels sont adressés au détenteur de chaque cheval (opération déjà réalisée pour les campagnes de mesures 2015 et 2016). C'est la moyenne des mesures sur les trois sauts d'oxers qui est communiquée après correction pour les effets environnementaux. Un graphique en araignée situe les valeurs du cheval par rapport à leur distribution dans l'ensemble de la population.

Figure IV : Restitution des données Obstacle en liberté
Figure IV: Scheme of data about free jumping



2 Matériel et Méthodes

Après vérification des données, les mesures des allures concernent 1 477 chevaux de quatre et cinq ans et les mesures du saut en liberté 754 chevaux de trois ans. Dans un premier temps, s'agissant de chevaux différents, les deux caractères ont été traités séparément. Pour les allures, à partir des courbes d'accélération décrites dans les trois dimensions, huit variables pour chacune des cinq allures (pas, trot de travail, trot moyen, galop de travail, galop moyen) ont été utilisées (CF 1.1.2 ci-avant) Pour le saut, les trois derniers sauts sur le plus gros oxer ont été retenus. Huit variables sont utilisées (CF 1.2.2 ci-avant).

Les effets du sexe, de l'âge (le cas échéant quatre et cinq ans ou le mois de naissance pour les trois ans), de la vitesse (pour les allures), du concours pendant lequel les données ont été enregistrées, du rang du saut (pour le saut) ont été testés et les mesures corrigées pour ces effets d'environnement. L'héritabilité a été estimée en utilisant tous les apparentés des chevaux (10 907 chevaux au total pour les allures, 5651 pour le saut).

Parmi les chevaux mesurés aux allures, 1219 ont une performance en compétition de saut d'obstacle à quatre ans, 994 à cinq ans et 290 à six ans. Pour les chevaux mesurés au saut, 264 ont une performance à quatre ans. Pour mesurer la corrélation génétique entre performance en compétition et allures, tous les chevaux nés à partir de 1998 ont été inclus à l'analyse (232 952 chevaux, 406 750 ancêtres et 458 269 performances annuelles de 2002 à 2016). Pour le saut, seule la corrélation phénotypique a été estimée.

Parmi les chevaux mesurés aux allures, 702 ont été déjà génotypés avec la puce Affymetrix Axiom qui comporte 670 806 SNP (Single Nucleotid Polymorphism).

La taille des chevaux mesurés aux allures était enregistrée au SIRE pour 97% d'entre eux (moyenne 166,75 cm, écart type 4,16cm).

3 Résultats

3.1 Synthèse des mesures d'allure et de saut

Le trot moyen et le trot de travail d'une part, le galop moyen et le galop de travail d'autre part correspondent bien à un même caractère, mesuré à deux vitesses différentes (les corrélations génétiques sont voisines de 1). Le trot et le galop sont donc considérés dans le reste de l'analyse comme deux seules entités, dont on a mesuré deux fois les caractéristiques. Une analyse en composante principale a ensuite été réalisée par allure. (Figure V). Le trot et le galop présentent une décomposition similaire : la première composante est l'opposition entre cadence et déplacement verticale (PC_DV). La seconde (troisième pour le galop) composante (PC_PH) associe la puissance horizontale à la cadence (et la puissance latérale pour le trot). La dernière composante représente la puissance latérale (PC_PL). Ces trois composantes représentent plus de 80% de la variance. Pour le pas la première composante associe la puissance verticale et le déplacement vertical à la régularité et la symétrie indépendamment de la cadence qui est incluse dans la deuxième composante associée à la puissance horizontale. L'analyse s'est poursuivie en utilisant ces composantes

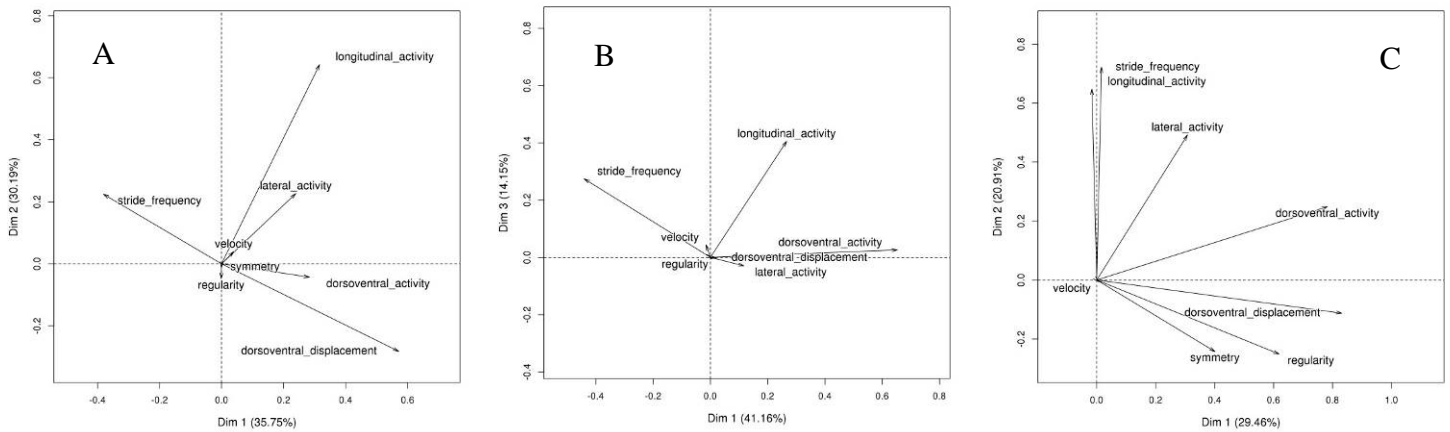


principales et non les variables initiales pour résumer les types d'allures. Notons que la régularité et la symétrie, peu répétables entre les deux mesures au trot et au galop, n'apparaissent pas dans ces composantes.

Figure V : Analyse en composantes principales de l'accélérométrie des allures.

A : le Trot, B : le Galop, C : Le pas.

Figure V: Principal component analysis of accelerometer measurements. A. Trot, B Canter, C. Walk.

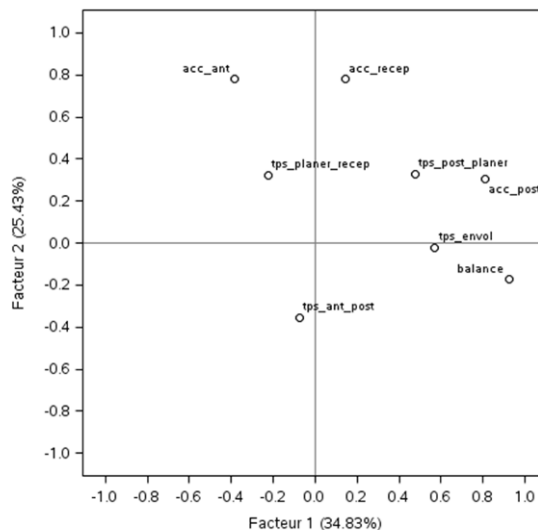


Légende : voir le texte 1.1.2, see text 1.1.2

Pour le saut, l'analyse en composante principale (Figure VI) permet de faire émerger deux styles : d'une part les chevaux qui sautent haut avec une forte et longue poussée des postérieurs, d'autre part les chevaux qui ont une frappe forte des antérieurs, un temps court entre cette frappe et la poussée des postérieures et une réception marquée.

Figure VI : Analyse en composantes principales de l'accélérométrie du saut

Figure VI: Principal component analysis of accelerometer measurement at free jumping



Légende : voir texte 1.2.2, see text 1.2.2



3.2 Héritabilité

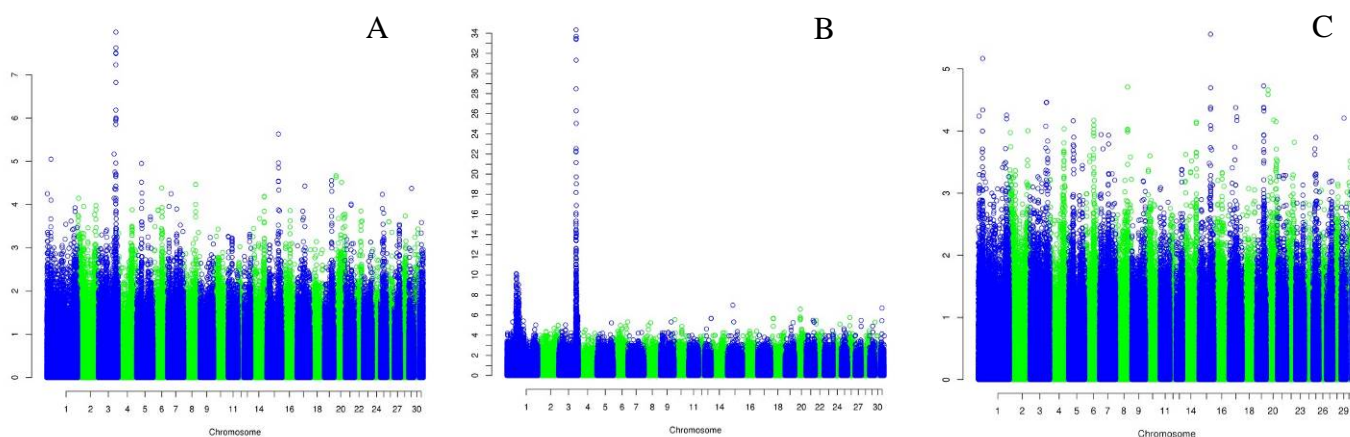
3.2.1 Allures et taille au garrot

Suspectant une relation évidente entre la cadence (donc la longueur des foulées et le déplacement vertical ou rebond) au trot ou au galop et la taille du cheval, nous avons réalisé une analyse génomique sur la taille au garrot avant d'estimer l'héritabilité des composantes des allures. Les résultats sont présentés Figure VII. Un pic important est détecté sur le chromosome 3 pour la taille, le même est détecté avec moins de force sur la première composante du trot (PC_DV). Il s'agit de la zone (g.105152868 à g.106128177) mise en évidence par Signer *et al.* (2012), Frischnecht *et al.* (2016) et Makvandi *et al.* (2012) qui affecte la taille dans différentes races équinées. Après correction pour la taille, le pic disparaît de l'analyse de PC_DV.

Pour distinguer le caractère « cadence lente et fort déplacement vertical au trot » de la taille nous avons finalement corrigé l'ensemble des composantes des allures pour la taille et inclus la taille comme composante supplémentaire pour caractériser le cheval (analyse structurelle, Gianola & Sorensen, 2004). Les composantes des allures sont donc des mesures qu'il faut imaginer à vitesse et taille constante.

Figure VII : Tests ($\log_{10}(p_value)$) des effets des marqueurs génomiques alignés par chromosome sur
A : PC_DV au trot, B : la taille, C : PC_DV au trot corrigé pour la taille

Figure VII: Manhattan plot of GWAS for (A) first principal component of trot (PC_DV) involving dorsoventral displacement and stride frequency, (B) height at withers and (C) and PC_DV corrected for height.



3.2.2 Héritabilité et corrélations génétiques entre composantes des allures et la taille

Le tableau 1 donne l'ensemble des résultats. Pour le trot et le galop, l'héritabilité est très forte pour PC_DV (0,53 et 0,41) forte pour PC_PH (0,33 et 0,19) et faible pour PC_PL (0,11 et 0,07). La correction pour la taille (moyennement héritable, 0,33) ne diminue pas l'importance de l'héritabilité de la composante du déplacement vertical et de la cadence. Pour le pas, les héritabilités sont faibles. Les corrélations génétiques entre les 3 composantes intra allure sont faibles. Entre allures, les composantes ayant la même définition sont corrélées (0,56 et 0,73) sauf pour PC_PL. En résumé, les caractéristiques des allures sont très héritables pour la cadence et la puissance horizontale, indépendamment de leur relation à la taille. Le trot et le galop ont des caractéristiques proches.

3.2.3 Héritabilité du saut

Les caractéristiques du saut sont nettement moins héritables que celles des allures mais pour les allures, il s'agit d'une vision globale sur 10 secondes alors que le saut ne dure même pas une seconde. Donc si on inclut dans cette comparaison les trois sauts répétés d'un même cheval l'héritabilité de la moyenne sur les trois sauts serait supérieure. Les deux variables notablement héritables sont la poussée des postérieurs, ($h^2=0,13$, 0,21 avec 3 sauts) et le temps de planer ($h^2=0,21$, 0,30 avec 3 sauts). Notons qu'à partir d'un modèle de balistique simple, le temps de planer est directement lié à la hauteur du centre de gravité pendant le saut.



4 Relation avec la performance en compétition

4.1 Allures et Performances en compétition

Les effectifs mesurés pour les allures étant grands, nous avons pu calculer des corrélations génétiques. Une seule corrélation génétique avec la performance est significativement différente de 0 : -0,22 (s.e. 0,10) avec la troisième composante principale du galop, celle de la puissance horizontale. Une forte activité horizontale au galop est donc négativement liée à la réussite en compétition de saut, à vitesse et taille égale. Cette nuance a de l'importance : ce n'est pas réellement la puissance telle qu'on l'imagine qui est mesurée mais les variations d'accélération sur l'axe pour réaliser une même vitesse. C'est donc potentiellement une agitation inutile à l'efficacité de l'allure. Toutes les autres composantes sont indépendantes de la performance en compétition.

Tableau 1 : Héritabilité (diagonale), corrélation génétique (triangle supérieur) et phénotypique (triangle inférieur) entre les composantes principales des allures¹ et la taille au garrot (les cases colorées correspondent aux valeurs significativement différentes de zéro)

Table 1: Heritability(diagonal), genetic correlation (above the diagonal) and phenotypic correlation (below the diagonal) between principal component traits of gaits¹ and height at withers, standard error in brackets, coloured box for significant estimates.

	PCT1_DV	PCT2_PH	PCT3_PL	PCG1_DV	PCG2_PL	PCG3_PH	PCP1_DV	PCP2_C	PCP3_S	Taille
PCT1_DV	0,53 (0,06)	-0,18 (0,15)	-0,31 (0,21)	0,56 (0,10)	0,00 (0,26)	-0,23 (0,18)	0,33 (0,20)	-0,54 (0,19)	0,13 (0,39)	0,00 (0,09)
PCT2_PH	-0,06 (0,02)	0,33 (0,04)	0,07 (0,24)	-0,15 (0,16)	-0,37 (0,32)	0,73 (0,11)	-0,27 (0,23)	0,49 (0,19)	0,43 (0,51)	0,21 (0,11)
PCT3_PL	0,02 (0,02)	0,16 (0,02)	0,11 (0,04)	-0,10 (0,23)	0,34 (0,42)	0,20 (0,28)	-0,13 (0,35)	0,52 (0,28)	0,16 (0,64)	0,36 (0,18)
PCG1_DV	0,37 (0,02)	0,02 (0,02)	0,04 (0,02)	0,41 (0,06)	0,27 (0,26)	-0,31 (-0,19)	0,25 (0,22)	-0,11 (0,21)	0,04 (0,42)	0,08 (0,10)
PCG2_PL	0,00 (0,02)	0,20 (0,01)	0,08 (0,02)	0,28 (0,02)	0,07 (0,03)	-0,41 (0,41)	-0,20 (0,42)	-0,10 (0,38)	0,14 (0,81)	-0,06 (0,21)
PCG3_PH	-0,01 (0,02)	0,43 (0,02)	0,07 (0,02)	0,19 (0,02)	0,31 (0,02)	0,19 (0,05)	-0,24 (0,27)	0,48 (0,22)	0,60 (0,62)	0,00 (0,13)
PCP1_DV	0,11 (0,02)	0,04 (0,02)	-0,08 (0,02)	0,09 (0,02)	0,06 (0,02)	0,00 (0,02)	0,16 (0,07)	-0,45 (0,30)	-0,68 (0,69)	0,22 (0,17)
PCP2_C	-0,04 (0,02)	0,21 (0,02)	0,19 (0,02)	0,05 (0,02)	0,16 (0,02)	0,23 (0,02)	0,00 (0,03)	0,15 (0,06)	0,26 (0,60)	-0,21 (0,16)
PCP3_S	-0,02 (0,02)	0,09 (0,02)	0,04 (0,02)	0,00 (0,02)	0,03 (0,02)	0,06 (0,02)	0,00 (0,03)	0,00 (0,03)	0,04 (0,06)	-0,07 (0,32)
Taille	0,00 (0,03)	0,07 (0,03)	0,07 (0,03)	0,03 (0,03)	-0,01 (0,03)	0,00 (0,03)	0,05 (0,04)	-0,05 (0,04)	-0,01 (0,04)	0,33 (0,08)

¹ Code: PCY_x_AA : PC=Composante principale, Y=T pour le trot, G pour le galop, P pour le pas, x le rang de la composante principale de 1 à 3, AAA = abréviation de la mesure majeure de la composante, DV=déplacement verticale, PH=puissance horizontale, PL=puissance latérale, C=cadence, S=symétrie.



Tableau 2 : Répétabilité et héritabilité des mesures issues de l'accélérométrie pour les 3 sauts sur le gros oxer
 Table 2: *Repetability and heritability of accelerometry measurement of the same oxer in free jumping.*

Mesure	Répétabilité	Erreur Standard	Héritabilité	Erreur Standard
anterieur_acceleration	0,39	0,02	0,00	0,04
posterieur_acceleration	0,44	0,02	0,13	0,07
reception_acceleration	0,54	0,02	0,05	0,05
lbalance	0,37	0,02	0,04	0,05
tot_acceleration	0,48	0,02	0,10	0,06
temps_ant_post	0,21	0,02	0,00	0,00
temps_post_planer	0,21	0,02	0,03	0,04
temps_planer	0,54	0,02	0,21	0,08
temps_planer_recep	0,26	0,02	0,07	0,05
temps_total	0,42	0,02	0,08	0,06

4.2 Saut en liberté et performances en compétition

Les effectifs ne permettent de calculer pour l'instant qu'une corrélation phénotypique avec l'indice annuel de performance en compétition. Deux corrélations sont significativement différentes de zéro : une corrélation négative (-0,15) avec le temps entre la frappe des antérieurs et la poussée des postérieurs et une corrélation positive (0,21) avec le temps de planer. Les 15% meilleurs chevaux sur le temps de planer gagnent trois points d'ISO en plus à quatre ans. Les 15% de chevaux qui ont un temps entre frappe des antérieurs et poussée des postérieurs le plus faible gagnent 2 points d'indice.

Dans une étude complémentaire, nous avons calculé le même type de corrélation avec les notes données par les juges à ces chevaux lors du concours d'élevage (et lors de la même épreuve de saut en liberté). Les seules corrélations significativement différentes de zéro sont celles des notes du saut (quelles qu'elles soient : 0,18 à 0,19 (monté) et 0,14 à 0,17 (liberté)). Les notes d'allure et de modèle, excepté la note de croupe (0,14) sont indépendantes de l'ISO.

En cumulant l'information apportée par l'accélérométrie et les notes, la précision de la régression multiple est de 11%, la première variable introduite dans le modèle est le temps de planer, donc la hauteur sautée.

5 Conclusion

Ces résultats sont les tous premiers du projet SoGen qui a l'ambition de combiner ces différents critères pour mieux caractériser la qualité des allures et de l'aptitude au saut mais aussi bientôt de décrire la morphologie.

Plusieurs conclusions sont déjà accessibles. Les allures ont des caractéristiques très héritables pour le trot et le galop, même débarrassées de leur liaison physiologique avec la taille et de la vitesse choisie pour les exprimer. Elles sont génétiquement indépendantes de l'aptitude au saut : il est possible de sélectionner un cheval avec certaines caractéristiques d'allure sans entacher la réussite en compétition mais sans la prévoir non plus. Il faut simplement se méfier d'un cheval qui exprime trop de variations d'accélération horizontale au galop pour une vitesse donnée. Le pas, qui est pourtant l'objet de beaucoup d'attention, est plus sensible à l'apprentissage et moins héritable. Il n'est pas particulièrement lié aux caractéristiques du galop.

Lors du saut en liberté, il faut s'attacher simplement à voir la hauteur réellement sautée par le cheval, ou à discerner le temps du planer, qui lui est proportionnel. Deux stratégies différentes sont développées par les chevaux pour franchir l'obstacle : une forte poussée des postérieurs associée à un temps de planer long ou bien des chevaux qui contractent leur foulée d'appel avec un temps court entre frappe des antérieurs et poussée des postérieurs et accusent un fort impact à la réception. Les deux, mais surtout la première, sont favorablement liées à la performance en compétition mais la corrélation demeure modeste : d'autres paramètres sont encore à appréhender.

Il est possible de proposer des évaluations génétiques qui distinguent 1) les caractéristiques des allures (à taille et vitesse constante) 2) la taille (elle-même influençant les allures, avec une information sur cet effet indépendant du 1)) et 3) l'aptitude au saut. Cette palette permettrait de donner un choix vaste d'orientations



de la sélection à chaque éleveur. Notons, qu'en plus d'une évaluation, il est possible pour la taille de fournir le génotype au marqueur génomique responsable de de près d'1/3 de la variance observée des tailles.

Remerciements

Les auteurs remercient chaudement tous les cavaliers, propriétaires, entraîneurs, lads, organisateurs de concours qui ont mis à disposition leurs chevaux, leurs terrains et leur temps de travail et sans qui tout cela n'aurait pas été possible Ils sont reconnaissants à l'IFCE, l'INRA et le Fonds Eperon qui ont financé ces recherches.

Références

- Barrey, E, M. Hermelin, J.L. Vaudelin, D. Poirel & J.P. Valette, 1994. Utilization of an accelometric device in equine gait analysis. *Equine Veterinary Journal* 17:7-12.
- Barrey, E, B. Auvinet & A. Couroucé, 1995: Gait evaluation of race trotters using an accelerometric device. *Equine Veterinary Journal* 18:156-160.
- Frischknecht, M., H. Signer-Hasler, T. Leeb, S. Rieder, & M. Neuditschko, 2016. Genome-wide association studies based on sequence-derived genotypes reveal new QTL associated with conformation and performance traits in the Franches-Montagnes horse breed. *Animal Genetics*, 47:227-229.
- Gianola, D., & D. Sorensen, 2004. Quantitative genetic models for describing simultaneous and recursive relationships between phenotypes. *Genetics* 167(3): 1407-1424.
- Leleu, C, F. Bariller, C. Cotral & E. Barrey, 2004. Reproducibility of locomotor test for trotter horses. *Veterinary Journal* 168:160-166.
- Frischknecht, M., H. Signer-Hasler, T. Leeb, S. Rieder, & M. Neuditschko, 2016. Genome-wide association studies based on sequence-derived genotypes reveal new QTL associated with conformation and performance traits in the Franches-Montagnes horse breed. *Animal Genetics*, 47:227-229.
- Gianola, D., & D. Sorensen, 2004. Quantitative genetic models for describing simultaneous and recursive relationships between phenotypes. *Genetics* 167(3): 1407-1424.
- Makvandi-Nejad, S, G.E. Hoffman, J.J. Allen, E. Chu, E. Gu, A.M. Chandler, A.I. Loredo, R.R. Bellone, J.G. Mezey, S.A. Brooks & N.B. Sutter, 2012. Four loci explain 83% of size variation in the horse. *PLoS ONE*, 7(7) : e39929.
- Signer-Hasler, H., C. Flury, B. Haase, D. Burger, H. Simianer, T. Leeb & S. Rieder, 2012. A genome-wide association study reveals loci influencing height and other conformation traits in horses. *PLoS ONE*, 7(5) : e372282.