



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

Les instruments de mesure dans le monde du cheval : une promesse sous conditions

A. Caussarieu¹

¹ Laboratoire de physique, ENS de Lyon, 46 allée d'Italie, 69007 LYON

Résumé

L'utilisation d'instruments de mesures toujours plus clés en main tend à masquer les difficultés associées à la réalisation de mesures qui soient utilisables pour prendre des décisions. Dans cette communication, nous illustrons quatre de ces difficultés :

- 1) la mécompréhension du phénomène étudié ou de l'instrument de mesure choisi ce qui entraîne le risque de ne pas mesurer la bonne grandeur,
- 2) l'évaluation des éventuelles erreurs systématiques liées à l'utilisation de l'appareil de mesure, qui peuvent fortement compromettre des comparaisons faites avec deux appareils de mesures de marques ou modèles différents,
- 3) l'estimation de la variabilité des mesures réalisées lorsqu'elles sont répétées dans des conditions similaires qui permet d'évaluer la confiance à accorder aux chiffres significatifs d'une mesure,
- 4) l'analyse des résultats et la comparaison de plusieurs mesures en tenant compte des incertitudes de mesure.

Mots clés : Mesure, instruments de mesure, incertitudes de mesure, déplacements, GPS

Summary

Opting for increasingly "ready to use" measuring tools tends to conceal the difficulties associated with collecting measures for the purpose of decision-taking. We will illustrate four of these difficulties :

- 1) an insufficient understanding of the studied phenomenon or of the chosen measuring tool, **which** can lead to the wrong quantity being measured,
- 2) assessing potential systematic errors of the measuring tool, errors which can thwart comparisons between measurements from different brands or models of measuring devices,
- 3) assessing the variability of measurements repeated in similar conditions in order to determine reliable rounding digits for the obtained data,
- 4) data analysis and comparison between several measurements, taking into account their respective measurement uncertainties.

Key-words: Measurement, measuring instruments, measurement uncertainties, displacements, GPS



Introduction

Pour Bachelard, historien des sciences, ce sont les nombreux instruments de mesure développés au XIX^e siècle qui ont permis l'avènement des sciences telles que nous les connaissons aujourd'hui (Bachelard, 1938). La quantification des phénomènes du monde est au cœur de la construction des connaissances scientifiques du XIX^e siècle qui ont permis la révolution industrielle.

Dans le monde du cheval, c'est la médecine vétérinaire qui sera la première à intégrer les démarches scientifiques et à abandonner les pratiques superstitieuses. La première école vétérinaire est créée à Lyon en 1761 par Claude Bourgelat en réaction, entre autres, aux approches traditionnelles des « empiriques ». Ces derniers pratiquaient par exemple très régulièrement le dessolement, c'est-à-dire l'arrachage de la sole, sur les chevaux souffrant du pied (Degueurce, 2012). Ces deux communautés de praticiens — ceux formés aux sciences et ceux perpétuant les traditions — vont s'opposer longuement dans les années qui suivent la création de l'école vétérinaire de Lyon. La médecine scientifique fait progresser l'espérance de vie des humains et des animaux. Les éleveurs se tournent alors de plus en plus vers les vétérinaires formés en école qui seront au début des années 1900 les seuls à avoir le droit d'exercer la médecine vétérinaire.

Les pratiques d'élevage et d'utilisation des chevaux (matériel et technique équestre) reposent encore souvent sur une tradition pluriséculaire. L'arrivée des cardiofréquencesmètres à la fin des années 1990 a permis d'objectiver l'effort réalisé à l'entraînement par les chevaux de course, d'endurance ou de concours complet et améliorer leur entraînement. Plus récemment, les tapis à capteurs de pression sont utilisés par les selliers pour améliorer l'adaptation des selles aux dos des chevaux. Aujourd'hui, on assiste à une explosion du nombre d'instruments de mesure accessibles aux cavaliers, que ce soit techniquement ou financièrement. Cette évolution laisse entrevoir une mutation de l'équitation au sens large vers une *evidence based practice*, c'est-à-dire une pratique basée sur les preuves.

Cependant, l'utilisation de ces outils et l'interprétation de leurs résultats ne sont pas aussi simples qu'il y paraît. Les chercheurs en sciences de l'éducation qui ont étudié l'enseignement des sciences ont montré les difficultés que l'utilisation d'un appareil de mesure et l'interprétation des résultats collectés posent à des étudiants même scientifiques (Seré, Journeaux et Larcher, 1993). Dans cette communication, nous allons illustrer différentes embûches que l'on peut rencontrer lorsque l'on utilise un instrument de mesure.

1 Les difficultés liées à l'instrument de mesure

1.1 Choisir l'instrument de mesure permettant de mesurer la bonne grandeur

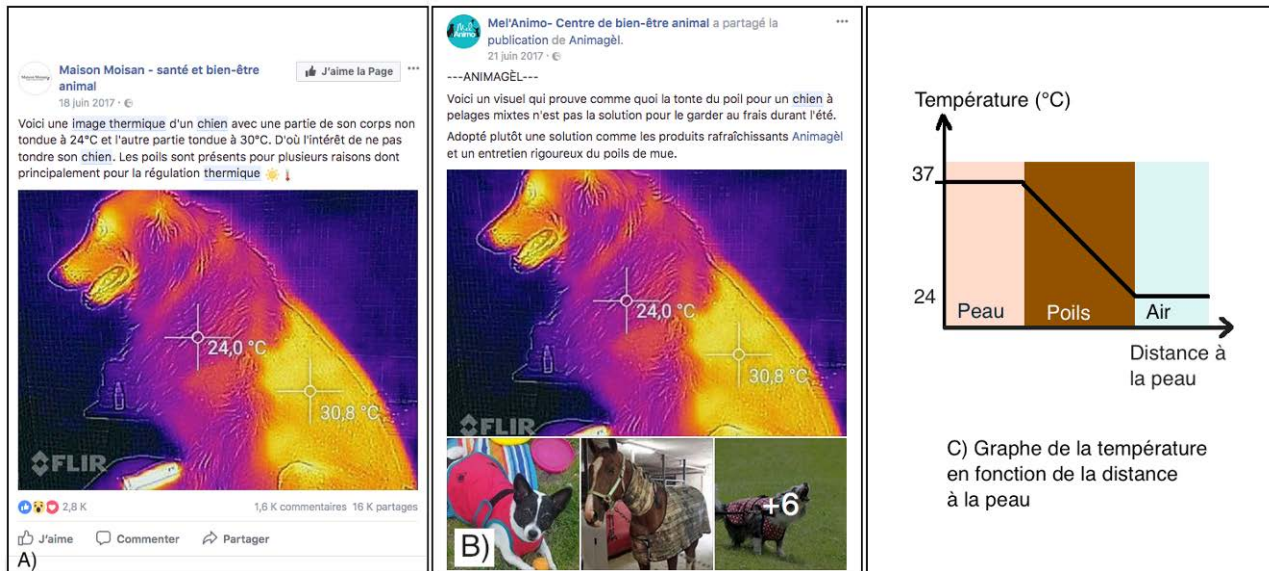
Les amateurs et professionnels du monde du cheval ont aujourd'hui à leur disposition un grand nombre d'instruments de mesure abordables financièrement. Cependant, le choix de l'instrument qui permettra de mesurer la bonne grandeur physique n'est pas toujours aussi simple qu'il n'y paraît comme l'illustre l'exemple ci-dessous.

Une image (voir figure I) réalisée à la caméra infra-rouge d'un chien tondu est devenue virale et a été partagée plus de 16000 fois en janvier 2017. Le texte qui l'accompagne indique que les poils sont nécessaires pour que le chien ne souffre pas de la chaleur en été : ils assurent la régulation thermique. Cette explication, appuyée par l'image infra-rouge, est choquante pour un scientifique. En effet, l'argument de l'auteur de la première publication repose sur une comparaison de la température de la peau sous les poils tondu à celle de la peau au niveau des poils tondu. Or ce n'est pas ce qui a été mesuré par la caméra thermique là où le chien n'a pas été tondu. En effet, la caméra thermique mesure les températures des surfaces qui émettent de la lumière infra-rouge (rayonnement du corps noir). Sur cette photo, la surface qui émet des infra-rouges est la surface des poils là où le chien n'a pas été tondu, et la peau du chien là où il a été tondu. Les poils étant effectivement isolants la température n'est pas la même sous les poils (peau) et à l'extérieur des poils, c'est ce qui permet à la peau de rester à une température plus élevée que l'air extérieur. C'est le même principe qui fait que la surface du mur extérieur d'une maison n'est pas à la température de l'intérieur de la maison !



Figure I : A) Capture d'écran de la publication de départ qui a été partagée plus de 16000 fois. B) Capture d'écran d'un partage de la publication qui utilise cette photo pour faire la promotion de produits rafraîchissants. C) Schéma illustrant le rôle d'isolant des poils du chien.

Figure I: A) Screen shot of the publication of departure which was more shared of 16000 times. B) Capture d'écran of a division (sharing) of the publication which uses this photo to promote refreshing products. C) Schéma illustrant the role of insulating material of the hairs of the dog.



Cet exemple illustre bien les difficultés potentielles liées à l'utilisation d'un instrument de mesure (ou d'un phénomène) dont on n'est pas familier. Il est donc recommandé de demander conseil à une personne spécialiste sur ce qu'il est effectivement possible, ou non, de mesurer avec l'appareil en question. Il est aussi conseillé d'être très critique sur les premières mesures et de ne pas hésiter à les confronter à d'autres mesures avec un appareil que l'on connaît mieux, ici par exemple un thermomètre.

1.2 Les erreurs liées à l'instrument de mesure

1.2.1 Quand l'instrument n'est pas utilisé dans de bonnes conditions

Une deuxième difficulté récurrente chez les étudiants est de se contenter de lire la valeur affichée sur un instrument de mesure sans vérifier la confiance que l'on peut avoir dans ce chiffre. Nous allons illustrer cette difficulté via l'utilisation d'un enregistreur GPS dans le cadre d'un projet de recherche mené par l'association pour le développement des sciences équinnes.

Ce projet part d'une problématique de terrain. De nombreux propriétaires d'équidés cherchent à offrir à leurs compagnons des conditions de vie plus proches d'un « naturel » souvent idéalisé. Hampson et collaborateurs montrent que des chevaux féroces dans des régions semi-arides d'Australie parcourent en moyenne 16 km par jour alors que des juments au pré parcourent en moyenne sept km/jr (Hampson et al, 2010). Leurs travaux viennent donc renforcer la thèse de la sédentarisation des chevaux domestiques : la diminution de la distance parcourue quotidiennement serait, comme chez l'homme, néfaste pour le cheval. Des propriétaires ont alors cherché à augmenter les distances parcourues quotidiennement par leurs chevaux en éloignant les ressources (eau et foin) dans les prés ou en construisant des couloirs selon la philosophie du Paddock Paradise® de Jackson. Partant du constat qu'au naturel les chevaux évoluent sur des pistes, Jackson propose de créer des pistes artificielles dans les prés des chevaux par l'intermédiaire de couloirs qui vont, selon lui, stimuler l'envie de se déplacer chez le cheval. Cette thèse s'est bien diffusée dans le monde du cheval puisque, comme le montre un sondage réalisé par l'association pour le développement des sciences équinnes à l'été 2017, 74% des répondants (222 réponses reçues) pensent que la présence de couloirs dans un hébergement va augmenter la distance parcourue par les chevaux.

Les mesures ont été réalisées avec un enregistreur GPS de bonne qualité (TSI G-LOG 770) qui donne la position des chevaux au cours du temps et permet d'en déduire la distance parcourue. Certains logiciels permettent d'avoir directement accès à cette distance, sans regarder le détail des mesures. Malheureusement, l'enregistreur GPS enregistre toujours une position, même lorsqu'il capte mal le signal issu des satellites. Dans ce cas, l'erreur sur la position peut devenir très grande et impacter fortement la mesure de la distance



totale parcourue. Ce constat a été fait lors de mesures préliminaires sur un cheval ayant accès à une stabulation quasiment fermée comme on peut le voir sur l'exemple d'enregistrement ci-dessous où le cheval n'est jamais sorti de son hébergement. Les erreurs sur la position du cheval peuvent aller jusqu'à plus de 100 m.

Figure II : Capture d'écran du logiciel permettant de visualiser le trajet enregistré par l'enregistreur GPS porté par un cheval pendant 24h.

Figure II: Screen shot of the software allowing to visualize the route recorded by the GPS recorder carried by a horse during 24 hours



Ce constat a permis à l'association de choisir pour réaliser les mesures uniquement des hébergements dans lesquels les chevaux n'avaient pas accès à une stabulation. De plus, tous les enregistrements ont été analysés « à la main » afin de détecter d'éventuelles grosses erreurs qui localiseraient les chevaux hors de leur enclos. Cela a été plusieurs fois le cas pour des mesures réalisées en bordure de forêt ou de plan d'eau (réflexions du signal des satellites).

Des erreurs similaires peuvent être observées lorsque l'on utilise un capteur en dehors de sa plage de calibration (ex : capteurs de pression) ou dans des conditions extrêmes (température extérieure très basse ou très élevée par exemple).

1.2.2 Faire une mesure à blanc

Lorsque l'on débute un projet de recherche ou lorsque l'on décide de quantifier un phénomène, on est souvent pressé de réaliser des mesures. On oublie alors fréquemment de faire une mesure « à blanc », dans les conditions de l'expérience mais en l'absence du phénomène, pour estimer les erreurs liées à l'instrument de mesure. Si la mesure doit durer plusieurs heures, alors il faut réaliser un enregistrement à blanc de la même durée.

Dans le cas du projet de recherche sur les déplacements des chevaux, c'est la lecture d'un article consacré à l'utilisation des capteurs GPS pour la géolocalisation du bétail (Anderson, 2013) qui nous a mis la puce à l'oreille. Cet article regrettait le fait que l'incertitude statique des GPS utilisés pour la géolocalisation ne soit pas systématiquement mentionnée dans les publications scientifiques. Nous avons alors comparé le signal enregistré par plusieurs enregistreurs GPS de modèles différents lorsqu'ils étaient accrochés à un piquet plusieurs heures d'affilée. La mesure de la distance apparente parcourue par l'enregistreur GPS varie alors de quelques centaines de mètres (G-LOG 770) à plusieurs kilomètres (IgotU) en fonction du dispositif utilisé comme illustré sur la figure 3. On voit que pour l'enregistreur GPS IgotU la dérive est très faible sur les deux

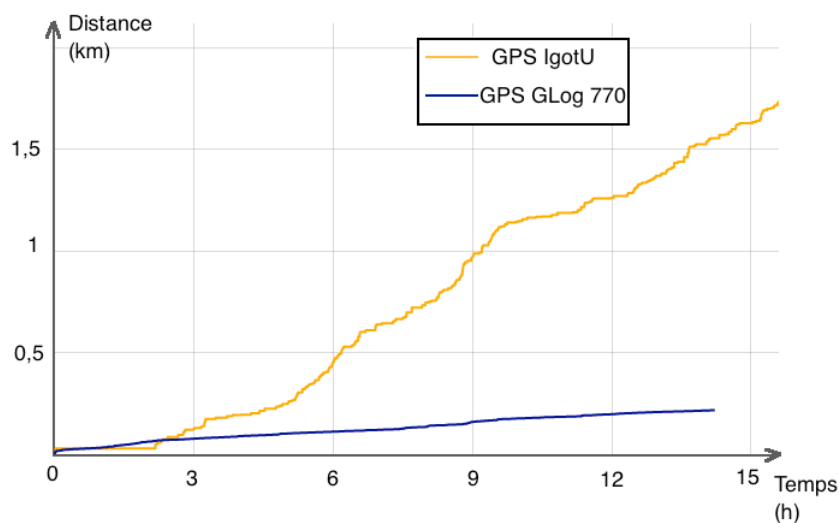


premières heures puis devient forte et constante. On peut supposer que cette dérive est due aux difficultés de l'appareil à utiliser d'autres satellites lorsque les premiers utilisés passent sous la ligne d'horizon. Cette erreur sur la distance parcourue est une erreur systématique qui dépend fortement du matériel utilisé. Elle a pour conséquence de systématiquement faire apparaître une distance parcourue plus grande que celle réellement parcourue par les chevaux. Les mesures à blanc nous ont permis de choisir le meilleur enregistreur pour cette étude. Elles nous ont aussi permis de comprendre les différences entre nos mesures et celles réalisées par des particuliers avec le GPS IgotU (leurs distances parcourues étaient systématiquement plus grandes).

Figure III : Tracé de la distance apparente parcourue par deux enregistreurs GPS fixés sur un même poteau.

En jaune le GPS IgotU et en bleu le TSI GLOG 770 (beaucoup plus cher).

Figure III: Plan of the distance traveled by two GPS recorders fixed to the same post. In yellow the GPS IgotU and in blue the TSI GLOG 770 (much more expensive).



1.3 L'incertitude statistique due à l'appareil de mesure

Une fois que l'on a corrigé les mesures des erreurs systématiques connues, il reste toujours une incertitude sur le résultat de la mesure. Ainsi dans le cas des enregistreurs GPS, les incertitudes sur la localisation de l'enregistreur sont dues à plusieurs facteurs : composition de l'atmosphère, réflexions éventuelles, erreurs d'horloge, ... La majorité de ces erreurs sont aléatoires, c'est à dire qu'elles varient de façon non prévisible au cours du temps. Il y aura donc toujours une incertitude d'origine statistique sur la mesure réalisée. Pour estimer cette incertitude dans le cas du projet utilisant les GPS, nous avons effectué une série de 6 mesures statiques avec l'enregistreur qui sera utilisé pendant l'étude. On obtient alors une valeur moyenne de la distance apparemment parcourue de 460 mètres, qui correspond à notre erreur systématique. L'estimation de la variance sur ces mesures est de 110 mètres. Il sera donc prudent de dire que l'incertitude statistique liée à l'utilisation du récepteur GPS GLOG 770 est de ± 220 m (deux écarts-types).

Pour autant, comme nous allons le voir dans la prochaine section, dans le cas des mesures sur du vivant, la source principale d'incertitude n'est en général pas l'instrument de mesure, mais le phénomène étudié.

2 Analyser des mesures

2.1 Souvent, mesure varie : variances, moyennes et statistique

Lorsque l'on réalise une mesure pour répondre à une question que l'on se pose (mon cheval marche-t-il davantage dans cet hébergement ? Mon cheval a-t-il plus de rebond après l'entraînement qu'avant ?), il est nécessaire de tenir compte de l'incertitude liée à la répétabilité de la mesure. De combien la mesure varie-t-elle lorsqu'on la reproduit dans des conditions identiques ?

Sur l'exemple du projet avec les enregistreurs GPS, il est nécessaire de se demander de combien varie la mesure de la distance parcourue par un cheval dans un même pré d'un jour sur l'autre. En effet, à cheval et hébergement fixés, de nombreux facteurs peuvent influencer la distance parcourue par le cheval : la météo



(vent, froid, ou au contraire grosses chaleurs et insectes), les bruits entendus un jour donné, l'humeur du cheval... Pour estimer cette variabilité (dispersion intra-individus), il est nécessaire de reproduire la même mesure plusieurs jours d'affilée. Sur les 34 chevaux pour lesquels nous disposons de trois jours complets de mesures, nous avons observé des écarts entre les distances parcourues quotidiennement variant de 300 m/jour à 6,3 km/jour.

Dans cette étude, l'objectif était de comparer les hébergements et non les chevaux. Il est donc important en plus de savoir comment cette distance parcourue au sein d'un hébergement dépend du cheval considéré (dispersion inter-individus). La plupart des mesures ont été réalisées avec deux ou trois chevaux équipés d'un enregistreur GPS. Les écarts entre les distances quotidiennes moyennes parcourues par les chevaux hébergés au même endroit varient entre 0,2 km/jour et 4,4 km/jour.

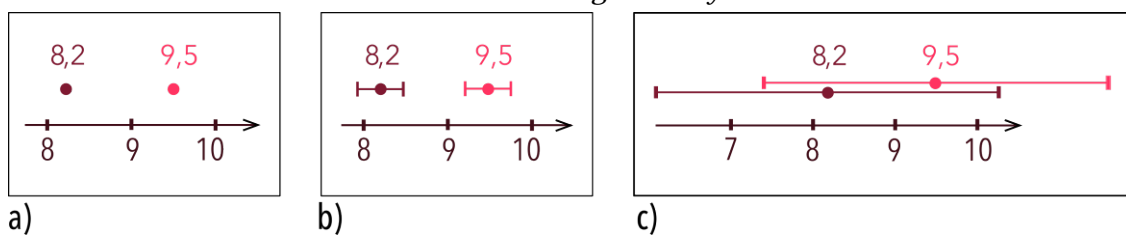
Les résultats présentés ci-dessus montrent l'absolue nécessité de répéter systématiquement les mesures lorsque l'on travaille avec du vivant afin d'avoir une idée de la variabilité de ce que l'on mesure.

2.2 Comparer des mesures

Comme nous l'avons vu ci-dessus, il est impossible de réaliser une mesure qui aurait une précision infinie. Pour comparer deux mesures, il est donc nécessaire de connaître les incertitudes associées à chacune des mesures. Pour illustrer cette affirmation, reprenons l'exemple du projet sur les mesures de déplacement des chevaux. Pour le premier hébergement de l'étude, nous avons mesuré une distance quotidienne moyenne (deux chevaux) de 9,5 km/jour. Pour le second hébergement, nous avons mesuré une distance quotidienne moyenne (deux chevaux) de 8,2 km/jour. Peut-on conclure que le premier hébergement fait parcourir une distance quotidienne moyenne plus grande que le deuxième hébergement ? Comme le montre la figure IV, cela va dépendre de l'incertitude associée à chacune des mesures. Dans notre cas, cette incertitude peut être évaluée à ± 2 km/j si l'on est audacieux, ou ± 4 km/j si l'on veut être plus prudent. Dans tous les cas, ces deux mesures ne sont pas significativement différentes et il n'y a pas de sens à donner le résultat de la mesure avec deux chiffres significatifs. Autrement dit, le chiffre après la virgule n'a pas de sens vu les incertitudes associées aux mesures.

Figure IV : Illustration de la comparaison de deux mesures de grandeurs physiques. A) En l'absence d'information sur les incertitudes respectives, il est impossible de conclure. B) Les mesures sont significativement différentes. C) Les mesures ne sont pas significativement différentes.

Figure IV: Illustration of the comparison of two measures of physical quantities. A) Without information on the respective uncertainties, it is impossible to conclude. B) The measures are significantly different. C) The measures are not significantly different



Statuer sur la différence ou la compatibilité entre deux mesures ne se fait pas de la même manière selon le domaine scientifique dans lequel on travaille. Dans les sciences physiques où l'on s'intéresse à des phénomènes plutôt robustes, on va considérer comme différentes uniquement des mesures dont l'écart entre valeurs est bien plus grand que les incertitudes associées. Dans les sciences du vivant où l'on observe en général des phénomènes beaucoup plus bruités, on va s'intéresser à des différences qui sont moins franches. Les chercheurs ont alors recours à des tests statistiques qui permettent d'estimer quel est le risque que la différence entre deux mesures ne soit pas dû au phénomène physique étudié, mais juste au hasard. Dans notre cas il s'agirait de se demander quels sont les risques que la différence entre les deux valeurs, 8,2 km/jour et 9,5 km/jour soit due au hasard ? Si le risque est plus faible que 5%, alors les deux valeurs sont significativement différentes. Dans tous les cas ce qu'il faut retenir c'est qu'il est impossible de tirer des conclusions sur la comparaison entre deux mesures si l'on ne connaît pas la variabilité associée à ces mesures.



3 Conclusions

Il semble évident que la démocratisation des appareils de mesure, que ce soit au travers des objets connectés ou des applications utilisant les capteurs de nos smartphones, vont permettre le développement d'une pratique équestre objectivée, basée sur le recueil de preuves. Cependant, dans cette communication nous avons illustré les principaux écueils auxquels chacun peut être confronté lorsqu'il réalise des mesures pour répondre objectivement à une question, qu'elle soit pratique ou scientifique. Il faut tout d'abord s'assurer d'avoir bien compris ce que mesure l'instrument de mesure choisi, et quelles sont ses limitations. Ces erreurs ne sont pas très fréquentes, mais elles invalident tout le raisonnement lorsqu'elles se produisent. Ensuite, il faut calibrer l'appareil de mesure en réalisant une mesure « à blanc », c'est-à-dire dans les conditions de l'expérience mais en l'absence du phénomène à étudier. Cette mesure permet aussi d'estimer la qualité de l'appareil de mesure choisi et de comparer ensuite ses mesures avec celles réalisées avec un autre appareil de mesure. Il est alors temps de s'intéresser aux incertitudes associées à cette mesure. Que se passe-t-il si l'on répète la mesure dans les mêmes conditions? Quel est l'ordre de grandeur de la variation? Il est capital d'estimer, même grossièrement, les incertitudes liées à la variabilité du phénomène mesuré car on voit trop souvent étudiants et amateurs tirer des conclusions à partir de deux mesures non répétées. Il est capital de se souvenir que l'on ne peut pas comparer deux valeurs si l'on n'a pas au moins l'ordre de grandeur de l'incertitude associée à ces valeurs. Ainsi les gains espérés par la multiplication des opportunités de faire des mesures sur les chevaux ne seront possibles que si les utilisateurs de ces instruments de mesure sont sensibilisés et formés à l'utilisation de chacun de ces instruments, mais aussi au principe même de la réalisation de mesures sur du vivant.

Remerciements

Cette communication s'appuie sur le projet de recherche mené par l'association pour le développement des sciences équinées. Un grand merci à tous les membres de l'association et à tous les bénévoles qui ont rendu ce projet possible. Merci aussi à Stéphanie Ronckier pour sa relecture et son aide pour rendre le résumé moins ... franglais !

Références

- Anderson, D. M., Estell, R. E., & Cibils, A. F. (2013). Spatiotemporal Cattle Data—A Plea for Protocol Standardization. *Positioning*, 4(1), 115–136. <https://doi.org/10.4236/pos.2013.41012>
- Bachelard, 1938. *La formation de l'esprit scientifique*, éd. VRIN
- Degueurce, 2012. Claude Bourgelat et la création des écoles vétérinaires. *Comptes Rendus Biologies*, 335(5), 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2012.02.005>
- Hampson, B., Morton, J., Mills, P., Trotter, M., Lamb, D., & Pollitt, C. (2010). Monitoring distances travelled by horses using GPS tracking collars. *Australian Veterinary Journal*, 88(5), 176–181. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2010.00564.x>
- Hampson, B. A., De LAAT, M. A., Mills, P. C., & Pollitt, C. C. (2010). Distances travelled by feral horses in “outback” Australia: Distance travelled by feral horses. *Equine Veterinary Journal*, 42, 582–586. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00203.x>
- Jackson, 2007. *Paddock paradise*, Ed. Star ridge company
- Séré, M., Journeaux, R., & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427–438. <https://doi.org/10.1080/0950069930150406>