

PROJET DE MASTER

Analyse de trajectoires de chevaux mesurées par GPS pour l'optimisation des infrastructures de détention

Léna Faivre

Superviseur : Dr. Stéphane Joost (LASIG EPFL, Lausanne)

Expert : Dr. Iris Bachmann (Haras national, Avenches)



Sciences et ingénierie de l'environnement
École Polytechnique Fédérale de Lausanne



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Lausanne, juin 2014

Résumé

En Suisse à l'heure actuelle, les chevaux sont nombreux mais les structures d'hébergement sont rarement à la hauteur de leurs besoins. Une grande partie vit de façon individuelle, dans des box le plus souvent, et une faible part vit en groupe. Ces conditions sont très éloignées d'une vie sauvage, notamment du point de vue du mouvement, de la vie sociale et de la répartition du temps entre les activités. En effet, les chevaux sauvages marchent près de 16 km par jour, vivent toujours en groupe et passent une grande partie de leur temps à manger. Comme ces conditions de vie ont une influence directe sur la santé des chevaux, il est fondamental d'améliorer les systèmes de détention. Pour cela, il convient d'étudier le comportement des chevaux domestiques dans les systèmes de détention actuels en Suisse et de le comparer au comportement des chevaux sauvages.

Des expériences ont été menées au haras national d'Avenches, qui a mis à disposition ses infrastructures (stabulations libres, aires de sortie, marcheur, manège, carrière, box) et 24 de ses chevaux. Des GPS de marque Wintec (modèle WBT-202) ont été placés sur les chevaux et ont enregistré leurs déplacements dans les différents systèmes de détention. Les données récoltées ont été triées puis couplées aux informations issues d'une orthophoto de résolution spatiale 10 centimètres obtenue grâce au drone R-POD, avant de servir au calcul de plusieurs résultats.

Les distances journalières moyennes parcourues dans les deux stabulations libres, tous chevaux confondus, étaient respectivement 2 610 mètres et 4 947 mètres. Cette différence importante peut être attribuée à la surface disponible par cheval, plus grande dans la seconde stabulation libre, ainsi qu'à l'agencement des éléments au sein des stabulations, ceux-ci étant beaucoup plus concentrés dans la première stabulation libre. Lors de chacune des sorties des chevaux (parc, marcheur et travail pour les chevaux de box, travail pour certains chevaux de stabulation libre), la distance, la distance horaire et la durée ont été calculées. Il s'avère qu'un cheval de box sortant 2 fois par jour ou un cheval de stabulation libre sortant 1 fois par jour parcourt plus qu'un cheval domestique vivant au pré (environ 7,5 km/jour en moyenne), et qu'un cheval de box sortant 3 fois par jour parcourt plus qu'un cheval sauvage (environ 16 km/jour en moyenne). Prudence toutefois, la distance n'est pas le seul facteur à prendre en compte : l'allure, la durée et l'état émotionnel sont également importants. L'étude des préférences de types de sol n'a montré aucun résultat probant, qu'il s'agisse des stabulations libres ou des aires de sortie. Enfin, l'analyse du temps consacré à chaque activité par les chevaux domestiques et sauvages suggère que le temps d'alimentation du cheval domestique est beaucoup plus court et que son temps de repos est plus long.

Ces résultats ont servi à donner quelques conseils pour l'optimisation des infrastructures de détention. Si possible, il faudrait préférer la détention en stabulation libre à la détention en box, en fournissant une surface par cheval la plus grande possible et en proposant un agencement réfléchi des éléments pour promouvoir le mouvement des chevaux. Il est souhaitable que la stabulation libre intègre une litière en paille pour occuper et faire mastiquer les chevaux, et propose un système d'affouragement automatique qui nourrit en petite quantité et tout au long de la journée pour allonger et répartir au maximum le temps d'alimentation.

Abstract

In Switzerland, horses are currently numerous but their housing systems are rarely well adapted to their natural needs. A great part live individually, in boxes most of the time, and a small part live in groups. These conditions are extremely far from a feral life, particularly concerning movement, social life and time activity repartition. Indeed, feral horses walk about 16 kilometers a day, stay in groups and spend a lot of time eating. These life conditions have direct influence on horse welfare and health, it is necessary to improve housing systems. To do so, one could study domestic horses behaviour in current swiss housing systems compared to feral horses behaviour.

Experiences were carried out at the Swiss National Stud Farm, Avenches, with following material : paddocks, pens, carrousel, schools, boxes and 24 horses. GPS devices (Wintec, WBT-202) were placed on horses and recorded their movement in distinct housing systems. Data collected were sorted then coupled with geographical information from a 10 centimeters resolution orthophoto obtained thanks to R-POD drone, before being used to compute several results.

The average daily distances travelled by horses in the two paddocks, all horses taken into account, were respectively 2 610 meters and 4 947 meters. This large difference could be attributed to the surface available per horse, greater in the second paddock, and to the arrangement of the elements into the paddocks, that were more concentrated in the first paddock. During each horse turnout (pen, carrousel and work for stalled horses, work for some of the paddock horses), the distance, the distance per hour and the duration were computed. It appears that a stalled horse making 2 turnouts per day or a paddock horse making 1 turnout per day travel more than pastured domestic horses living in multi-hectares fields (about 7,5 km/day in average), and that a stalled horse making 3 turnout in one day travel more than a feral horse (about 16 km/day in average). However, one should not forget that distance is not the only factor to consider : speed, duration and horse emotional state are also important. The soil type preferences study revealed no significant result, either in paddocks or pens. Finally, activity time analysis for both domestic and feral horses suggested that feeding time of domestic horses is shorter.

This results were used to give some advices for housing systems optimization. When possible, one should prefer paddock housing than box housing, by providing a surface as big as possible per horse and proposing an intelligent arrangement of the elements for horses movement promotion. The paddock should contain a straw litter, which fills horses and make them chew, and propose an automatic hay feeding system which feeds in small quantity and all along the day, in order to extend and spread alimentation time.

Table des matières

1 Introduction.....	3
1.1 Contexte.....	3
1.1.1 Contexte général.....	3
1.1.2 Les systèmes de détention actuels en Suisse.....	3
1.1.3 Vie sauvage versus vie domestique.....	3
1.1.3.1 Mouvement.....	4
1.1.3.2 Vie sociale.....	4
1.1.3.3 Répartition du temps entre les différentes activités.....	4
1.2 But.....	5
1.3 Objectifs.....	5
2 État de la recherche.....	7
2.1 Suivi d'animaux par GPS : des applications diverses.....	7
2.1.1 Suivi du bétail et d'animaux sauvages.....	7
2.1.2 Suivi d'équidés.....	7
2.1.2.1 Équidés sauvages.....	7
2.1.2.2 Équidés domestiques.....	8
2.1.2.3 Performance sportive.....	8
2.1.3 Le système de suivi GPS.....	8
2.2 La détention des chevaux domestiques.....	8
2.2.1 Systèmes de détention.....	8
2.2.1.1 Législation suisse.....	8
2.2.1.2 Articles scientifiques.....	9
2.2.2 La détention individuelle.....	9
2.2.2.1 Vie sociale.....	9
2.2.2.2 Besoin de mouvement.....	10
2.2.3 La détention en groupe.....	11
2.2.4 Les activités du cheval domestique.....	11
2.3 Les chevaux en conditions naturelles.....	11
2.3.1 Vie en groupe.....	11
2.3.2 Activités et utilisation du temps.....	12
3 Matériel et méthode.....	13
3.1 Infrastructures et chevaux.....	13
3.1.1 Stabulation libre 1.....	13
3.1.2 Stabulation libre 2.....	14
3.1.3 Box.....	14
3.1.4 Aires de sortie, marcheurs et espaces de travail.....	15
3.2 GPS : sélection d'un appareil adéquat.....	15
3.2.1 Première sélection.....	15
3.2.2 Comparaison des 4 GPS sélectionnés.....	16
3.2.3 Portrait du GPS choisi.....	17
3.3 Expériences.....	17
3.4 Orthophoto.....	18
3.4.1 Définition d'une orthophoto.....	18
3.4.2 Acquisition de l'orthophoto.....	18
3.4.3 Exploitation de l'orthophoto.....	19
3.5 Traitement des données récoltées.....	20
3.5.1 Distances parcourues dans les différents systèmes de détention.....	21

3.5.2 Temps consacré aux différentes activités dans les stabulations libres.....	21
3.5.3 Temps passé dans chaque zone des stabulations libres.....	22
3.5.4 Interactions sociales au sein des stabulations libres.....	22
3.5.5 Analyses de type réseau.....	22
3.5.6 Récapitulatif.....	23
4 Résultats.....	25
4.1 Distances parcourues dans les différents systèmes de détention.....	25
4.1.1 Distances parcourues dans les stabulations libres.....	25
4.1.2 Distances parcourues lors des sorties au parc, des séances de marcheur et des séances de travail.....	27
4.1.3 Scénarios pour les systèmes de détention actuels.....	29
4.2 Activités pratiquées dans les stabulations libres.....	30
4.2.1 Temps consacré à chaque activité.....	30
4.2.2 Nombre de repos.....	31
4.3 Temps passé dans chaque zone des stabulations libres.....	32
4.4 Interactions sociales.....	33
4.5 Déplacements des chevaux entre les différentes places des stabulations libres.....	37
5 Discussion.....	38
6 Conclusion.....	43
7 Perspectives.....	44
8 Références.....	45
Annexe 1 – Détails sur le processus de sélection du GPS.....	48
A1.1 Première sélection.....	48
A1.2 Comparaison des 4 GPS sélectionnés.....	50
A1.2.1 Précision et précision relative.....	50
A1.2.2 Résistance sous couvert.....	52
A1.2.3 Récupération du signal après un couvert.....	54
A1.2.4 Mesure de distance.....	54
A1.2.5 Altimétrie.....	54
A1.2.6 Autonomie.....	55
A1.2.7 Récapitulatif.....	55
Annexe 2 – Protocole d'expériences complet.....	57
A.1 Infrastructures.....	57
A.2 Chevaux.....	57
A.3 Matériel.....	58
A.4 Élaboration du dispositif et fixation sur les chevaux.....	59
A.5 Expériences.....	60
Annexe 3 – Complément des résultats.....	62
A3.1 Distances parcourues dans les différents systèmes de détention.....	62
A3.2 Activités pratiquées dans les stabulations libres.....	65
A3.3 Temps passé dans chaque zone des stabulations libres.....	67

1 Introduction

1.1 Contexte

1.1.1 Contexte général

En Suisse à l'heure actuelle, cavaliers et chevaux sont nombreux et les effectifs sont en augmentation depuis plusieurs années (Impact économique, social et environnemental du cheval en Suisse, bilan 2013). Le pays compte un peu plus de 100 000 équidés, soit 12,8 équidés pour 1 000 habitants, un chiffre proche des moyennes allemande et anglaise. Que ces animaux soient destinés à la compétition, au loisir ou à la reproduction, leurs conditions d'hébergement sont rarement à la hauteur de leurs besoins. En effet, une grande partie des chevaux vit individuellement et dans des lieux confinés (Bachmann et Stauffacher 2002, Henderson et al. 2007, Sarrafchi 2012), des conditions très éloignées de celles d'une vie sauvage (Hampson et al 2010b, Sarrafchi 2012). Ceci s'explique notamment par la peur qu'ont les propriétaires de voir leur cheval de valeur blessé (Freymond et al. 2013), par le fait que l'utilisation et la gestion des chevaux soient facilitées lorsqu'ils sont détenus dans des box (Sarrafchi 2012) et par une politique d'aménagement du territoire stricte qui rend les terrains agricoles peu accessibles aux non-agriculteurs et les projets de construction de structures équestres très difficiles à mener à bien (Impact économique, social et environnemental du cheval en Suisse, bilan 2013, Bachmann 2014). Cette situation est préoccupante car les effets à court et long terme sur la santé et l'équilibre mental des animaux sont mal connus à ce jour (Hampson et al. 2010b).

1.1.2 Les systèmes de détention actuels en Suisse

En Suisse, 83,5 % des chevaux sont détenus de façon individuelle, dans des box (65,2 %) ou à l'attache (18,3 %), contre 16,5 % hébergés en groupe (Bachmann et Stauffacher 2002).

Au sens de la loi, un box est un enclos situé à l'intérieur d'un bâtiment, de faible surface (environ 10 mètres carrés) dans lequel le cheval est détenu presque toujours seul. Il est muni d'un abreuvoir, d'une mangeoire et d'une litière (Ordonnance sur la protection des animaux du 23 avril 2008 (OPAn)). Les chevaux vivant en box en sortent pendant environ 1 heure pour la séance de travail (Henderson et al. 2007, Werhahn et al. 2012). Selon les structures et bien souvent selon la météo, ces chevaux sont également placés dans des aires de sortie pendant quelques heures (Bachmann et Stauffacher 2002, Henderson et al. 2007). Au sens de la loi, une aire de sortie est un pré ou un enclos aménagé de façon à permettre aux animaux de s'y mouvoir librement tous les jours et par tous les temps (OPAn). Dans la pratique, seulement 36 % des chevaux ont un accès quotidien à une aire de sortie, dans 62,8 % des cas leur sortie dépend de la météo et 1,2 % n'y vont jamais (Bachmann et Stauffacher 2002). Dans certaines structures, les chevaux vont aussi s'exercer dans des marcheurs.

Lorsqu'ils ne sont pas hébergés seuls, les équidés sont souvent détenus dans des stabulations libres. Au sens de la loi, une stabulation libre est un enclos dans lequel les chevaux vivent en groupe et peuvent se mouvoir librement. Elle peut être située à l'intérieur d'un bâtiment ou à l'extérieur si elle présente des abris, et est également munie d'un abreuvoir, d'une mangeoire et d'une litière (OPAn).

1.1.3 Vie sauvage versus vie domestique

Des différences sont remarquables entre le mode de vie des chevaux sauvages et des chevaux domestiques. Le mouvement, les interactions sociales et la répartition du temps entre les différentes activités de la journée en sont quelques exemples (Sarrafchi 2012).

1.1.3.1 Mouvement

Les chevaux sauvages parcourent de grandes distances, 16 kilomètres par jour en moyenne (Hampson et al. 2010a), pour accéder à l'eau et à la nourriture en quantité suffisante. Ils occupent de très grands espaces, qui peuvent représenter jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres carrés (Hampson et al. 2010a, Linklater et al. 2000, Kaczensky et al. 2008).

Le besoin de mouvement des chevaux est reconnu par la loi en Suisse (art. 61, OPAn) et a été prouvé scientifiquement (Haupt et al. 2001, Rivera et al. 2002, Chaya et al. 2006, Jorgensen et Boe 2007).

Il est surprenant de constater que les chevaux domestiques, même lorsqu'ils sont placés dans des prés et disposent de très grandes surfaces, ne marchent pas plus de 7,5 kilomètres par jour (Hampson et al. 2010b), soit 2 à 3 fois moins qu'un cheval sauvage. Ceci est en grande partie dû au fait qu'ils n'ont pas besoin de chercher l'eau et la nourriture, car l'homme les rend directement disponibles (Hampson et al. 2010b).

Pour les chevaux de box, le mouvement est très limité. Cette immobilisation peut mener à l'apparition de comportements agressifs envers les autres chevaux et les humains, ou non-désirés comme les stéréotypies (Kiley-Worthington 1990, Cooper et Mason 1998, Christensen et al. 2002, Visser et al. 2008, Sarrafchi 2012). Les stéréotypies sont définies comme une répétition immotivée, automatique et inadaptée à la situation, (de mots,) de mouvements ou d'attitudes (Petit Larousse illustré 2001), et ce type de comportement n'a jamais été observé dans des conditions naturelles (Sarrafchi 2012). Le manque de mouvement se fait aussi ressentir lors des séances de travail, les chevaux, notamment les jeunes, ont besoin d'un temps plus long pour exécuter les exercices. (Rivera et al. 2002, Sondergaard et al. 2004). En stabulation libre, les chevaux sont libres de se déplacer à volonté, bien que leur espace soit restreint.

1.1.3.2 Vie sociale

À l'état naturel les chevaux vivent presque toujours en groupe, et les quelques étalons qui sont seuls ne le restent pas longtemps. Les hardes peuvent être constituées d'un étalon et de son harem¹, d'étalons seuls ou de juments seules (Berger 1976, Linklater et al. 2000, Boyd et Keiper 2005, Kaczensky et al. 2008, Hampson et al. 2010a). La vie sociale du cheval sauvage est donc très développée, des individus d'âge variable et de sexe différent se côtoient continuellement.

La vie en communauté est très importante pour le cheval pour plusieurs raisons. À l'état naturel le cheval est une proie, la vie en groupe permet donc d'améliorer la survie de tous par une vigilance décuplée (Sarrafchi 2012, Hartmann et al. 2012). D'autre part, les contacts sociaux sont d'une importance capitale pour le bien-être et la santé mentale des chevaux (Heleski et al. 2002, Henderson et al. 2007), notamment le jeu avec les congénères, qui tient un rôle clé dans le développement des aptitudes sociales des individus (Ladewig et al. 2005, Goodwin et Hughes 2005). En Suisse, la loi reconnaît que les chevaux ont besoin de tisser des liens avec leurs semblables (art. 59 al. 3, OPAn).

Les contacts sociaux sont possibles en stabulation libre, ce qui améliore considérablement le bien-être mental des animaux (Heleski et al. 2002, Irrgang et Gerken 2010). En revanche, la vie sociale est brimée en box (Christensen et al. 2002), en particulier pour les étalons et les chevaux de compétition de grande valeur qui sont toujours tenus à distance, physiquement, des autres chevaux pour éviter les blessures (Freymond et al. 2013).

1.1.3.3 Répartition du temps entre les différentes activités

Ces 2 facteurs, mouvement et vie sociale, mènent entre autres à une répartition du temps

¹ Un harem est formé par les juments, les poulains et les jeunes adultes qui n'ont pas encore atteint la maturité sexuelle.

entre les différentes activités de la journée bien distincte de celle d'une vie à l'état naturel.

À l'état sauvage les chevaux passent une grande partie de leur temps, entre 40 et 80 % (Salter et Hudson 1979, Arnold 1984, Boyd et al. 1988), à s'alimenter, principalement d'herbe, (Salter et Hudson 1979, Mc Innis et Vavra 1987) et se déplacent en même temps qu'ils s'alimentent (Berger 1976). Parfois, ils ne boivent pas pendant plusieurs jours et marchent de nombreuses heures avant d'atteindre un point d'eau (Hampson et al. 2010a). Au contraire, les chevaux domestiques sont nourris avec des concentrés très énergétiques 2 à 3 fois par jour, et du foin en relativement faible quantité (Henderson et al. 2007). Les chevaux se retrouvent donc de longs moments sans manger, et leur besoin de mastication (Anic Ostertag, 9ème réunion annuelle du réseau de recherche équine suisse 2014, Avenches) n'est pas satisfait.

D'autre part, dans des conditions naturelles les chevaux se déplacent beaucoup, une large proportion de leur temps est donc consacrée au mouvement, ce qui n'est pas le cas dans des conditions domestiques classiques (Sarrafchi 2012).

1.2 But

Il est d'un intérêt capital d'améliorer les systèmes de détention des équidés en Suisse, car cela permettrait de conserver les animaux en bonne santé physique et mentale, toutes deux menacées par une vie confinée (Bell et al. 2001, Holcombe et al. 2001, Henderson et al. 2007, Visser et al. 2008). Ce genre d'étude a déjà été réalisé pour plusieurs espèces en Suisse, spécialement les animaux de rente et les animaux domestiques, dans un centre de recherche spécialisé à Tänikon (TG)².

L'amélioration des systèmes de détention suppose d'étudier les structures actuelles, en particulier le comportement des chevaux au sein de ces structures, afin de le comparer au comportement des chevaux sauvages. Pour cela, la solution envisagée est l'utilisation de GPS pour enregistrer la position des chevaux en tout temps. Toutes les expériences ont été conduites au haras national d'Avenches (VD), qui a mis à disposition des chevaux ainsi que toutes ses infrastructures de détention et de travail, en particulier les stabulations libres et leurs habitants.

1.3 Objectifs

L'étude du comportement du cheval dans les systèmes de détention actuels sera plus particulièrement focalisée sur les éléments précédemment cités : les déplacements, les interactions sociales et le temps consacré aux différentes activités. Pour cela, les objectifs sont les suivants.

1. Mesurer les distances parcourues par les chevaux dans différentes configurations de détention :
 - a. mesurer la distance moyenne parcourue par 24 heures dans les stabulations libres ;
 - b. mesurer la distance horaire moyenne parcourue dans les aires de sortie ;
 - c. mesurer la distance horaire moyenne parcourue lors des séances de marche ;
 - d. mesurer la distance horaire moyenne parcourue lors des séances de travail ;
 - e. comparer ces valeurs aux données existantes sur les chevaux sauvages.
2. Établir les préférences des chevaux quant au type de sol, afin de promouvoir le mouvement dans les stabulations libres et les aires de sortie :
 - a. calculer les distances parcourues sur chaque type de sol dans les stabulations libres ;
 - b. calculer les distances parcourues par type de sol dans les aires de sortie.
3. Évaluer la répartition du temps entre les activités dans les stabulations libres :
 - a. identifier les principales activités du cheval ;
 - b. mesurer le temps qui y est consacré chaque jour ;
 - c. comparer ces observations aux données sur les chevaux sauvages.

2 Site internet : <http://www.blv.admin.ch/themen/tierschutz/00744/00745/index.html?lang=fr>.

4. Étudier les déplacements des chevaux entre les différents éléments des stabulations libres :
 - a. calculer le temps passé dans chaque zone des stabulations libres ;
 - b. établir des diagrammes de type réseau des déplacements des chevaux entre les différents points d'intérêt des stabulations libres.
5. Identifier les relations entre individus dans les stabulations libres :
 - a. comptabiliser le nombre de contacts rapprochés entre les individus ;
 - b. établir si des individus ont un niveau de « sociabilité » particulièrement bas ou élevé ;
 - c. établir des diagrammes de type réseau des relations sociales au sein du groupe.

2 État de la recherche

2.1 Suivi d'animaux par GPS : des applications diverses

2.1.1 Suivi du bétail et d'animaux sauvages

La technologie GPS a été utilisée dans de nombreux projets de suivi d'animaux, notamment des études visant à identifier les herbes préférées par le bétail dans les prés, et ce pour diverses raisons. En 1997, Rutter et al. ont étudié les zones les plus mangées par les moutons aux alentours de Tchernobyl, grâce, entre autres, à un suivi par GPS. Quelques années plus tard, différents projets ont utilisé la technologie GPS couplée à des outils SIG (cartes, images aériennes, altitude ou encore carte des types de végétation) pour étudier les comportements des troupeaux et identifier les zones de préférence du bétail : Turner et al. en 2000, Tomkins et Filmer ainsi que Putfarken et al. en 2007, Trotter et al., Ganskopp et al. ainsi que Meisser et al. en 2009.

L'utilisation de GPS a également servi à l'identification des activités des animaux. Moen et al. en 1996 ont étudié les élans, et Ungar et al. en 2005 ont identifié les activités des bovins.

En 2000, Ganskopp et al. ont mené une étude originale montrant que les petits sentiers créés par les animaux dans les champs, pour lier 2 points, étaient des chemins de moindre effort.

Grâce au système GPS, Handcock et al. en 2009 ont réussi à analyser le comportement des bovins en identifiant les niveaux d'affinités entre les individus du troupeau.

Récemment, la technologie GPS a été mise au service des bergers pyrénéens par le biais du projet e-Pasto, qui consistait à équiper moutons, vaches et chevaux de GPS afin d'aider les détenteurs à gérer leurs animaux dans les estives. Ce dispositif devait permettre aux bergers de retrouver plus rapidement leurs bêtes, de vérifier leur position grâce à des barrières virtuelles et d'intervenir vite en cas de problème (CnesMag, octobre 2013).

2.1.2 Suivi d'équidés

2.1.2.1 Équidés sauvages

En 2010a, Hampson et al. ont étudié des chevaux sauvages en Australie. Ils ont suivi 2 groupes de chevaux en les équipant d'enregistreurs de position GPS qui ont récolté des données pendant plusieurs jours. La première harde était située dans une zone semi-aride où la nourriture était proche du point d'eau et facilement accessible, alors que la deuxième harde se trouvait dans une zone plus escarpée, également semi-aride, où la compétition alimentaire avec les autres espèces était forte aux environs du point d'eau. Les résultats ont montré que les 2 hardes avaient des comportements différents, et que ceux-ci dépendaient de la distribution des ressources. Dans le premier cas, les chevaux n'avaient pas besoin de s'éloigner du point d'eau pour trouver de la nourriture, leur fréquence de boisson était donc en moyenne plus faible (2,1 jours) que dans la seconde harde (3,2 jours), qui s'en éloignait parfois jusqu'à 55 kilomètres. Les individus de la première harde avaient donc des comportements similaires d'un jour à l'autre, au contraire des chevaux de la deuxième harde qui alternaient entre des journées de grande marche pour aller au point d'eau puis revenir (jusqu'à 12 heures pour un aller simple), et des journées de faible déplacement, passées là où la nourriture était abondante. Tous individus confondus, les distances journalières parcourues s'évaluaient entre 8,1 et 28,3 kilomètres, pour une moyenne de 15,9 kilomètres.

Des résultats similaires concernant l'éloignement du point d'eau et les faibles fréquences d'abreuvement ont été trouvés chez les zèbres par Brooks et al. en 2007.

Kaczensky et al. en 2008 ont aussi étudié le mouvement d'équidés grâce à la technologie GPS. Ils ont suivi, par GPS et durant plusieurs années, des chevaux Przewalski et des ânes sauvages Mongoles dans le désert de Gobi. Ils ont analysé leurs stratégies d'utilisation des ressources, qui se

sont avérées être différentes pour les 2 espèces, ainsi que leur organisation sociale.

2.1.2.2 Équidés domestiques

En 2010b, Hampson et al. ont mené un projet ayant pour objectif de mesurer les distances parcourues par les chevaux domestiques dans des prés de différentes configurations, au moyen d'enregistreurs GPS placés sur les chevaux durant plusieurs jours. D'abord, ils ont testé différentes organisations internes dans le pré (totalement libre, labyrinthe, spirale, etc) et il s'est avéré que les distances journalières parcourues par les chevaux ne changeaient pas beaucoup d'une structure à l'autre. D'autre part, ils ont testé plusieurs tailles de prés, de 0,8 à 16 hectares, sans configuration interne particulière. Les résultats indiquaient que la distance journalière moyenne parcourue par les chevaux augmentait en fonction de la taille du pré de façon logarithmique, pour se stabiliser à 7,5 kilomètres. Même s'ils disposaient d'un espace très grand, les chevaux marchaient environ 2 à 3 fois moins qu'un cheval sauvage. Les auteurs ont expliqué cela par la disponibilité des ressources alimentaires, très grande pour les chevaux domestiques et bien plus faible pour les chevaux sauvages.

En 2012, Werhahn et al. ont utilisé des GPS pour mesurer les distances parcourues par des chevaux de compétition lors de leurs sorties au parc. Lors de leurs expériences, les chevaux parcouraient entre 1,4 et 6,5 kilomètres en 2 heures.

En 2013, Hampson et al. ont utilisé le GPS pour suivre les déplacements des chevaux dans une stabulation libre équipée d'un nouveau système d'alimentation dynamique.

2.1.2.3 Performance sportive

Plusieurs projets ont utilisé le GPS sur les chevaux pour des recherches axées sur la performance sportive. Curtis et al. en 1997 ont montré que les mesures GPS couplées à des mesures physiologiques comme la fréquence cardiaque ou la consommation d'oxygène étaient d'un grand intérêt.

Plus récemment, Fonseca et al. en 2010 ont évalué des indices de vitesse grâce à des mesures GPS et cardiaques lors de l'entraînement de chevaux de course Pur-sang.

2.1.3 Le système de suivi GPS

En 2013, Allan et al. ont publié un article présentant une méthode de suivi GPS des animaux, efficace et peu coûteuse. Ils ont proposé d'exploiter les GPS conçus pour les activités sportives ou de loisirs, très bon marché et d'y faire quelques modifications, comme ajouter des batteries pour avoir une meilleure autonomie. Cette solution à faible coût permettait de suivre de nombreux individus à la fois. De plus, le dispositif était rapide à mettre en place, au contraire des solutions fabriquées « maison » qui auraient été bien plus coûteuses en temps.

2.2 La détention des chevaux domestiques

2.2.1 Systèmes de détention

2.2.1.1 Législation suisse

L'ordonnance sur la protection des animaux du 23 avril 2008 fixe un certain nombre de règles concernant la détention des équidés. Au sens de cette ordonnance, un enclos est un espace clôturé dans lequel les animaux sont détenus (art. 2), le box est un enclos situé à l'intérieur d'un local (art. 2), une stabulation libre est un enclos dans lequel les animaux vivent en groupe et peuvent se mouvoir librement (art. 9) et une aire de sortie est un pré ou un enclos aménagé de façon à permettre aux animaux de s'y mouvoir librement tous les jours et par tous les temps (art. 2). Ces enclos doivent satisfaire plusieurs exigences, notamment être munis des éléments indispensables à

l'animal comme une mangeoire, un abreuvoir, un emplacement de défécation et d'urinement (art. 3). Les enclos doivent également être conçus de telle manière qu'ils n'occasionnent pas de blessure, que les animaux puissent s'y tenir debout, se coucher, se reposer et se lever de manière propre à l'espèce (art. 8).

L'annexe 1 de l'ordonnance sur la protection des animaux énonce les surfaces minimales des box et des aires de sortie, qui varient en fonction de la taille du cheval. La loi donne également l'obligation de sortir les chevaux : les chevaux qui font l'objet d'une utilisation doivent pouvoir bénéficier de sorties au moins deux jours par semaine pendant au moins deux heures par jour, les juments poulinières avec leur poulain, les jeunes chevaux et les autres chevaux qui ne font pas l'objet d'une utilisation doivent pouvoir bénéficier de sorties tous les jours pendant au moins deux heures (art. 61).

2.2.1.2 Articles scientifiques

En 2002, Bachmann et Stauffacher ont mené un sondage sur la détention des équidés en Suisse. L'étude a révélé qu'une grande partie des chevaux étaient détenus individuellement, dans des enclos confinés, durant la majorité des heures de la journée. Plus précisément, les sondages montraient que 83,5 % des chevaux étaient détenus de façon individuelle, dans des box (65,2 %) ou à l'attache (18,3 %), contre 16,5 % hébergés en groupe. Seulement 36 % des chevaux avaient un accès quotidien à une aire de sortie, dans 62,8 % des cas leur sortie dépendait de la météo et 1,2 % ne sortaient jamais.

Les problèmes de confinement et d'isolation sociale ont été l'objet de plusieurs études. Hartmann et al. en 2012 ainsi que Freymond et al. en 2013 ont expliqué que cette situation était récurrente chez les étalons à cause de leur agressivité, souvent supérieure à celle d'une jument ou d'un hongre. Ils ont ajouté que cette agressivité se manifestait surtout lors des premières rencontres pour l'établissement de la hiérarchie, mais diminuait par la suite. Hartmann et al. en 2012, dans leur compte rendu sur la détention des chevaux en groupe, ont mentionné que ce problème était également habituel chez les chevaux de compétition de grande valeur, dont les blessures doivent être évitées à tout prix.

En 2007, Henderson et al. ont apporté des solutions pour améliorer le quotidien des chevaux de compétition. Ils ont notamment décrit en détails la situation actuelle en expliquant que les chevaux étaient quasiment exclusivement enfermés dans des box toute la journée, qu'ils n'en sortaient la plupart du temps qu'une heure pour travailler, et qu'ils n'avaient jamais de contacts sociaux avec les autres.

2.2.2 La détention individuelle

De nombreuses études ont focalisé leur attention sur les effets de l'hébergement individuel sur les chevaux. En effet, la détention en box fait que le cheval est d'une part isolé socialement, et d'autre part immobilisé. Ces 2 facteurs ont des conséquences négatives sur les individus, qui se déclarent notamment par l'apparition de comportements indésirables comme les stéréotypies ou une agressivité augmentée.

2.2.2.1 Vie sociale

Kiley-Worthington en 1990 ainsi que Cooper et Mason en 1998 ont remarqué que les chevaux qui développaient des comportements anormaux étaient ceux détenus dans des box individuels, ce qu'ils ont expliqué par le confinement, l'inactivité et l'isolation sociale. D'après Sarrafchi 2012, les stéréotypies n'ont jamais été observées dans la nature.

Christensen et al. en 2002 ont montré qu'une privation sociale prolongée avait des effets à long terme sur les étalons de 2 ans : ceux hébergés individuellement ne tissaient pas de liens forts

avec leurs voisins de box, au contraire de ceux hébergés par groupes de 3. Les mêmes auteurs, la même année, ont aussi montré que l'isolation sociale induisait une agressivité décuplée envers les congénères.

En 2007, Henderson et al. ont utilisé les stéréotypies comme un indicateur de santé et montré que la santé mentale des chevaux de compétition, toujours détenus en box, était compromise.

Visser et al. en 2008 ont montré que l'isolement social brutal chez le jeune cheval avait des conséquences dramatiques telles qu'un stress accru et l'apparition de stéréotypies. Les jeunes chevaux soudainement placés en hébergement individuel faisaient preuve de plus de comportements liés au stress, comme les hennissements, les crottins répétés ou les coups de pieds dans les cloisons. La vie en box a mené à l'apparition de comportements indésirables tels que les stéréotypies à hauteur de 67 % des chevaux étudiés, en 12 semaines.

En 2010, Irrgang et Gerken ont étudié le comportement des étalons dans différents systèmes de détention. Ils ont remarqué que les étalons libres d'interagir avec leurs congénères montraient beaucoup plus de comportements appréciables que ceux privés de contact, plus agressifs.

2.2.2.2 Besoin de mouvement

En 2001, Houpt et al. ont étudié l'effet d'une privation de mouvement sur des juments portantes. La moitié des juments sortait s'exercer durant 30 minutes chaque jour, alors que l'autre moitié ne sortait que 30 minutes toutes les 2 semaines. Les résultats ont montré que les juments qui restaient enfermées étaient beaucoup plus actives, lors de leurs rares sorties, que les autres : elles trottaient et galopaient davantage, et marchaient et broutaient moins. Ainsi, les juments répondaient à la privation de mouvement par une compensation lors de leurs sorties.

Le manque d'exercice et d'activité ont été reconnus pour induire des problèmes de plusieurs types. Bell et al. en 2001 ont étudié les conséquences d'une détention en box sur la densité osseuse du troisième métacarpe, et ont conclu qu'une sortie au parc de 12 heures chaque jour était bénéfique pour maintenir voir augmenter la teneur en minéraux des os. La même année, Holcombe et al. ont montré que la détention en box avait un lien avec l'inflammation de l'appareil respiratoire chez des chevaux qui avaient vécu dehors depuis la naissance. Les problèmes comportementaux liés à l'immobilisation ont aussi été soulignés par Bachmann et al. en 2003, qui ont étudié les facteurs de risques de certaines stéréotypies.

L'étude de Rivera et al. en 2002 a montré que les jeunes chevaux hébergés individuellement avaient besoin d'un temps plus long pour apprendre lors des séances d'entraînement que les chevaux vivant en groupe et au pré. De plus, les chevaux de box montraient beaucoup plus de gestes indésirables comme des mouvements forts de la tête ou très expressifs, comme le cabré et les ruades. Ces 2 derniers facteurs pouvaient être expliqués par la frustration de mouvement endurée par les chevaux au box, qui manifestaient leur besoin de bouger et de dépenser leur énergie lors de l'entraînement. Une étude similaire a été effectuée en 2004 par Sondergaard et al., menant à une conclusion similaire : les chevaux vivant en groupe avaient besoin de moins de temps pour parfaire leur entraînement que les autres.

Dans une étude publiée en 2006, Jorgensen et Boe ont observé que les chevaux exercés tous les jours marchaient, lors de leur sortie au parc, significativement moins que ceux restés au box. Ils ont aussi montré qu'en augmentant la taille du parc, les distances parcourues par les chevaux et le temps passé à brouter étaient plus grands.

En 2006, Chaya et al. ont examiné l'influence du temps passé au parc sur le comportement des chevaux au parc. Ils ont montré que les chevaux passant plus de temps au parc avaient moins tendance à trotter, galoper et ruer que les autres, et que leur fréquence de broutement était plus élevée.

En 2012, Werhahn et al. ont observé l'influence de différents régimes de sortie sur le comportement de chevaux de compétition. Ils ont conclu que les chevaux qui ne sortaient jamais en dehors des heures d'entraînement avaient un plus grand degré de stress, et que leur enthousiasme à travailler était moins grand que ceux qui sortaient en liberté 2 heures par jour.

2.2.3 La détention en groupe

En 2002, Heleski et al. ont montré que les contacts sociaux étaient d'une importance capitale pour la santé mentale des chevaux. Ils ont comparé le comportement de poulains hébergés dans 2 systèmes de détentions différents. Les observations ont montré que les poulains détenus par groupes de 3 dans des stabulations libres avaient une utilisation du temps très différentes des poulains détenus en box individuel. Les poulains vivant en groupe avaient un comportement plus proche des chevaux sauvages, passant plus de temps à bouger et moins à se reposer. Ces poulains montraient aussi un grand intérêt au broutement de l'herbe et restaient proches de leurs congénères. Les poulains vivant en box ont montré, quant à eux, beaucoup plus de comportements aberrants comme lécher les murs, taper dans les cloisons ou encore ruer.

Bourjade et al. en 2008 ont montré que la détention en groupe, d'une manière analogue à la vie sauvage, c'est-à-dire des adultes et des jeunes ensemble, permettait aux jeunes de développer positivement leur vie sociale, en favorisant les associations et en diminuant les agressions.

En 2013, Freymond et al. ont apporté la preuve qu'il était possible de détenir des étalons en groupe, dans des prés. Tous les individus de l'expérience se connaissaient, mais n'avaient jamais vécu en groupe : ils étaient voisins de box, d'attelage ou de marcheur. Une fois les étalons placés dans un grand pré, les interactions agonistiques entre les individus ont fortement diminué après 3 ou 4 jours, pour laisser place à des interactions d'affiliation.

Le haras national a tenté d'optimiser la détention des chevaux en box en développant de nouvelles parois de box, semi-ouvertes, permettant aux chevaux d'avoir des contacts sociaux lorsqu'ils le souhaitent³.

2.2.4 Les activités du cheval domestique

En 2010, Rose-Meierhöfer et al. ont montré que l'activité des chevaux était affectée par l'espace dont ils disposaient ainsi que par l'agencement des éléments du système. L'usage d'une alimentation en céréales et en foin automatisée, en plus d'une stabulation spécialement organisée menait à un comportement significativement plus actif des chevaux.

En 2013, Hampson et al. ont mis au point un nouveau système d'alimentation automatique dans une stabulation libre, dans le but d'augmenter les déplacements des chevaux.

2.3 Les chevaux en conditions naturelles

2.3.1 Vie en groupe

En 1976 déjà, Berger a étudié des chevaux sauvages du Grand Canyon en Arizona. Il a observé que les chevaux créaient des groupes où la hiérarchie était importante, selon 3 structures sociales différentes. Certains étaient en harde, c'est-à-dire un étalon et son harem, d'autres formaient des groupes d'étalons sans jument, et d'autres encore étaient des étalons solitaires.

En 2000, Linklater et al. ont mené une étude sur des chevaux sauvages en Nouvelle Zélande. Ils ont notamment observé leur mode de vie et leur utilisation de l'espace. Ils ont noté que les chevaux restaient en groupe, où mâles et femelles vivaient ensemble.

Boyd et Keiper, en 2005, ont aussi montré que les chevaux sauvages vivaient en hardes, et formaient le plus souvent des groupes où mâles et femelles cohabitaient.

3 Site internet : <http://www.agroscope.ch/haras/07251/07326/index.html?lang=fr>.

Plus tard, en 2010a, Hampson et al. ont mené une étude sur 2 hardes de chevaux sauvages en Australie, l'une mixte, l'autre composée uniquement de juments.

2.3.2 Activités et utilisation du temps

Différentes études ont examiné les activités des chevaux à l'état naturel et leur gestion du temps. Toutes ont prouvé qu'ils vivaient dans des zones de grande surface et passaient une grande partie de leur temps à s'alimenter.

En 1976, Berger a observé que les chevaux sauvages du Grand Canyon utilisaient des zones de plusieurs kilomètres carrés pour vivre, et identifié que les 2 activités principales des chevaux étaient l'alimentation et le repos.

En 1979, Salter et Hudson ont étudié des chevaux sauvages dans l'ouest de l'Alberta, une province canadienne, et en particulier leur régime alimentaire. Ils ont observé que les chevaux se déplaçaient en fonction des ressources, différentes selon les saisons. Ils ont identifié que les chevaux passaient le plus clair de leur temps à manger, à hauteur de 75 % des heures de la journée.

Arnold, en 1984, a étudié le comportement et les activités des chevaux, bovins et ovins détenus dans une même pâture. Bien qu'il ne s'agissait pas de chevaux sauvages, les animaux étaient placés dans des conditions presque naturelles. Les chevaux passaient entre 4 et 16 heures à manger (soit 17 à 67 % du temps), et se couchaient très peu (environ 1,1 heure par jour).

Boyd et al. en 1988 ont trouvé des résultats similaires lorsqu'ils ont étudié le comportement des chevaux Przewalski durant des cycles de 24 heures. Les équidés passaient en moyenne 46 % de leur temps à manger, 21 % en position debout, 16 % à se reposer debout et 7.4 % à se mouvoir. Les autres activités (boire, allaiter, se toiletter, se toiletter mutuellement, jouer, et cetera) représentaient des pourcentages très faibles.

Plus récemment, l'étude menée par Hampson et al. en 2010a a révélé que les chevaux sauvages se déplaçaient beaucoup pour accéder à l'eau et la nourriture en quantité suffisante pour leur survie, près de 16 kilomètres par jour en moyenne pour les chevaux du désert australien. À cause du manque de points d'eau, les chevaux pouvaient se passer de boire pendant près de 4 jours, s'alimentant là où les ressources étaient suffisantes. Ils devaient alors parcourir de nombreux kilomètres et fournir de nombreuses heures de marche pour atteindre le point d'eau.

3 Matériel et méthode

Afin de réaliser une analyse du comportement des chevaux dans les systèmes de détention actuels, un certain nombre d'éléments ont été nécessaires. Pour conduire les expériences, il fallait d'abord des infrastructures de détention et de travail, ainsi que des chevaux. Il fallait également choisir un GPS adéquat au suivi des déplacements des chevaux dans ces structures. Pour analyser correctement l'emplacement des chevaux au sein du haras par la suite, une orthophoto était nécessaire, d'une précision permettant de distinguer les différents types de sol. Enfin venait la phase de traitement des données GPS récoltées.

3.1 Infrastructures et chevaux

Toutes les infrastructures exploitées ainsi que les chevaux utilisés comme sujets pour les expériences ont été mis à disposition par le haras national d'Avenches. L'équipement qui a été plus particulièrement utilisé est : les stabulations libres et leurs pensionnaires, les box et leurs pensionnaires, les aires de sorties, le marcheur, la carrière et le manège.

3.1.1 Stabulation libre 1

Dans la première stabulation libre vivent 12 chevaux, d'âge et de race variables. Tous sont d'anciennes juments de sport maintenant utilisées comme juments porteuses pour le transfert d'embryon. Un tableau descriptif de ces chevaux est disponible à l'annexe 2.

La stabulation libre dans laquelle vivent ces juments a une surface approximative de 715 mètres carrés, et dispose de 2 abris. Le premier, dont le sol est recouvert de paille, est fermé et représente environ 1/4 de la stabulation libre (figure 1). Le second est plus petit, composé de stalles d'affouragement individuelles (figure 2), où les juments ont accès au foin à certains moments de la journée (figure 3). La stabulation compte également 1 râtelier à paille (figure 4) et 1 abreuvoir (figure 5). Le sol de la zone à l'air libre est de 2 types différents : une partie est en béton, l'autre est constituée par une structure alvéolée (figure 6).



Fig 1: abri dont le sol est recouvert de paille



Fig 2: stalles d'affouragement individuelles



Fig 3: accès au foin à certaines périodes de la journée



Fig 4: râtelier à paille



Fig 5: abreuvoir



Fig 6: sol constitué par du béton et par une structure alvéolée

3.1.2 Stabulation libre 2

Dans la seconde stabulation libre vivent 4 chevaux, également d'âge et de race variables. Deux sont des juments retraitées destinées au transfert d'embryon et les 2 autres des juments de sport, travaillées quotidiennement. Un tableau descriptif de ces animaux est disponible à l'annexe 2.

Leur stabulation libre a une surface approximative de 817 mètres carrés et dispose de plusieurs abris de petite taille : 2 étaient des petites cabanes avec le sol recouvert de sciure et disposant de 2 ouvertures (figure 7), le troisième est constitué d'une stalle individuelle où les chevaux peuvent recevoir une ration de grains à certains moments de la journée (figure 8), et le dernier est un abri destiné à l'affouragement (figure 9). La stabulation présente aussi 1 râtelier à paille (figure 10) et 1 abreuvoir (figure 11). Le sol est formé de plusieurs matières, la plus grande partie étant constituée par une structure alvéolée (figure 12) et un petit carré étant en sable (figure 13).



Fig 7: abri dont le sol est recouvert de sciure



Fig 8: stalle individuelle pour la distribution automatique de grains



Fig 9: abri central destiné à l'affouragement



Fig 10: râtelier à paille



Fig 11: abreuvoir



Fig 12: structure alvéolée



Fig 13: carré de sable

3.1.3 Box

Parmi les chevaux hébergés en box (figure 14), 8 ont été sélectionnés pour les expériences. Il s'agit de chevaux de sport, hongres ou étalons d'âge et de race variables. Tous sont aussi placés dans des aires de sortie ou exercés dans des marcheurs plusieurs fois par semaine. Un tableau descriptif de ces chevaux est disponible à l'annexe 2.



Fig 14: box

3.1.4 Aires de sortie, marcheurs et espaces de travail

Les aires de sortie, dont le sol est soit en copeaux (figure 15) soit en sable (figure 16), ont une surface allant de 300 à 408 mètres carrés pour celles dans lesquelles sont allés les chevaux étudiés.

Le marcheur, une piste de forme circulaire dans laquelle les chevaux sont encadrés et sont obligés de se déplacer à une vitesse imposée (figure 17), a un diamètre extérieur de 17 mètres environ.

Les chevaux sont montés dans la carrière (figure 18) ou dans le manège (figure 19) et vont parfois en promenade.



Fig 15: parc avec sol en copeaux



Fig 16: parc avec sol en sable



Fig 17: marcheur



Fig 18: carrière



Fig 19: manège

3.2 GPS : sélection d'un appareil adéquat

Pour les expériences, il était important de sélectionner un GPS bien adapté au suivi des chevaux dans leurs structures de détention. Grâce à plusieurs critères, une première sélection a permis de choisir les quelques appareils les plus adaptés. Des tests ont ensuite mené à la sélection finale du modèle.

3.2.1 Première sélection

Les besoins concernant le GPS pour un suivi optimal des chevaux ont été exprimés sous la forme de 11 critères, présentés dans le tableau 1 ci-dessous. Quelques recherches sur internet ont permis d'identifier 18 appareils actuels, qui ont été notés selon ces critères.

Le critère le plus difficile à satisfaire est l'autonomie. En effet, la plupart des GPS proposés sur le marché sont adaptés aux sports et aux loisirs, pour lesquels une tenue de 10 à 12 heures est suffisante. Les notes obtenues par les différents appareils sont disponibles à l'annexe 1.

Suite à cette évaluation, 4 appareils ont été retenus : le modèle *i-got U GT-600* de la marque Mobile Action, le modèle *WBT-202* de la marque Wintec, le modèle *Super Trackstick* de la marque Trackstick et le modèle *e-trex 10* de la marque Garmin.

Critères principaux		Critères secondaires	
Enregistreur de données	Appareil enregistrant les positions	Précision	Appareil dont l'erreur est inférieure à 3 mètres
Autonomie	Appareil assurant une durée d'enregistrement minimale de 24 heures	Forme	Appareil de forme rectangulaire et plate pour une fixation facile
Mémoire	Appareil assurant un stockage minimal de positions correspondant à 24 heures d'enregistrement	Détecteur de mouvement	Appareil intégrant un détecteur de mouvement permettant d'économiser la batterie
Waterproof	Appareil résistant à la pluie	Poids	Appareil léger
Alerte si batterie faible	Appareil avertissant l'utilisateur lorsque la batterie est faible (LED)	Attache	Appareil présentant un système d'attache exploitable
		Coût	Appareil bon marché

Tableau 1: critères de sélection appliqués aux 18 GPS actuels trouvés sur le marché

3.2.2 Comparaison des 4 GPS sélectionnés

Les 4 GPS sélectionnés ont été testés. La fréquence de mesure a été réglée à 1 position toutes les 2 secondes pour chaque appareil, sauf pour le GPS *Super Trackstick* qui n'accordait pas cette liberté de réglage et dont la fréquence d'enregistrement était de 1 position toutes les 15 secondes. Cet appareil a donc été éliminé d'office. Pour effectuer des tests significatifs, les appareils ont été portés par la même personne sur un tracé varié. Plusieurs caractéristiques ont été examinées à partir des trajectoires obtenues, pour chaque instrument. Ces caractéristiques font l'objet du tableau 2 suivant. Les résultats détaillés de ces tests sont disponibles à l'annexe 1.

Précision	Dans un lieu dégagé, la position indiquée par le GPS est-elle correcte ?
Précision relative	Pour une trajectoire particulière, est-ce que le tracé est décalé de quelques mètres mais son allure bonne ?
Résistance sous couvert	Le signal GPS continue-t-il d'être acquis sous des arbres ou un abri ?
Récupération du signal après un couvert	Une fois que la connexion au satellite a été rompue, combien de temps met le GPS à récupérer le signal et donner une position juste ?
Mesure de distance	La distance que mesure le GPS est-elle correcte ?
Altimétrie	L'altitude et les différences d'altitude indiquées par le GPS sont-elles correctes ?
Autonomie	Combien de temps fonctionne le GPS, placé sur un cheval en stabulation libre ?

Tableau 2: description des caractéristiques évaluées pour les 4 GPS sélectionnés

Les performances des différents appareils sont présentées dans le tableau 3 ci-dessous. Le meilleur GPS est sans équivoque le modèle *WBT-202* de Wintec. Comme aucune caractéristique ne s'opposait au choix de ce modèle, c'est celui qui a été sélectionné.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Précision	*	***	*	**
Précision relative	*	***	*	***
Résistance sous couvert	*	***	**	***
Récupération du signal	*	**	**	***
Distance	**	***	*	*
Altimétrie	*	***	*	**

Tableau 3: performance des 4 GPS testés pour chaque caractéristique évaluée

3.2.3 Portrait du GPS choisi

Les principales caractéristiques du GPS sélectionné, le modèle *WBT-202* de la marque Wintec, sont présentées dans le tableau 4 ci-dessous. Le détecteur de mouvement intégré au GPS fonctionne de la façon suivante : si la position n'a pas changé depuis 60 secondes, l'appareil se met en veille. Dès qu'un nouveau mouvement est détecté, l'appareil redémarre.

Type	Enregistreur de données
Module	u-blox 5
Coût	130 CHF
Alimentation	Batterie rechargeable (recharge 4 h)
Autonomie	28 h en usage continu, > 48 h sur les chevaux
Mémoire	1 Gb
Précision	2,5 m
Poids	55 g
Dimensions	Longueur : 64 mm, largeur : 40 mm, épaisseur : 17 mm
LED	3 (témoignent de tous les statuts de l'appareil)
Détecteur de mouvement	Oui
Données enregistrées	Date Heure Latitude Longitude Altitude Vitesse Orientation Distance absolue (distance depuis le point de départ) Distance relative (distance depuis le point précédent)

Tableau 4: caractéristiques principales du modèle choisi

3.3 Expériences

Grâce au matériel précédemment décrit, les expériences ont pu être réalisées. Une campagne de mesures a été menée entre le 7 avril et le 21 mai 2014, au haras national d'Avenches. Au total, 24 chevaux ont été équipés de GPS. Douze de ces animaux vivaient dans la première stabulation libre, 4 dans la seconde et 8 étaient hébergés dans des box.

Les GPS ont été emballés dans du plastique puis scotchés sur des colliers spécialement conçus pour les chevaux (figure 20). Deux ficelles attachées au collier et tressées avec les crins ont

permis de maintenir les GPS orientés au maximum vers le ciel pour une réception optimale (figure 21). Aucune blessure ni aucune perte anormale de crins n'a été causée par le dispositif.



Fig 20: GPS emballé dans du plastique et scotché au collier



Fig 21: tresses liant les crins et ficelles attachées au collier pour maintenir le GPS face au ciel

Les chevaux des stabulations libres ont été suivis durant 5 cycles de 48 heures. Les données enregistrées contiennent les mouvements à l'intérieur et à l'extérieur de la stabulation. Les chevaux de box ont été suivis pendant 7 jours, entre 8h et 17h, ce qui correspondait à la période de la journée durant laquelle ils étaient manipulés. Dans chaque cas, la fréquence de mesure a été réglée à 2 secondes afin de saisir tous les déplacements. Le protocole d'expériences complet est disponible à l'annexe 2.

3.4 Orthophoto

Afin d'exploiter les points acquis, il était nécessaire d'avoir une donnée qui permette de faire le lien entre ces points et les zones du haras, en particulier les différentes zones de sorties des chevaux (parcs, marcheurs, carrière, manège) mais également les éléments au sein des stabulations libres (lieux d'affouragements, râteliers, abreuvoirs, types de sol, etc). Une orthophoto de précision suffisante constituait une information répondant à ces attentes.

3.4.1 Définition d'une orthophoto

Une orthophoto est une image aérienne de la surface terrestre, rectifiée géométriquement de façon à ce que chaque point du cliché soit superposable aux éléments d'une carte du même lieu. La réalisation d'une orthophoto nécessite des calculs complexes. Les orthophotos peuvent être exploitées pour des applications diverses, elles servent notamment souvent de base dans les systèmes d'information géographique. Les produits cartographiques de Google, GoogleMaps et GoogleEarth, en sont un exemple. Souvent, elles sont utilisées pour des analyses d'utilisation du sol, notamment dans les domaines de l'aménagement du territoire, l'agriculture ou la mensuration officielle, mais aussi pour le suivi de chantiers de grande envergure comme l'exploitation de carrières ou encore la mise en évidence des dangers naturels.

3.4.2 Acquisition de l'orthophoto

Le 13 mars 2014, un vol du drone R-POD a été effectué au-dessus du haras national, les conditions météorologiques étaient excellentes, avec un ciel clair et peu de vent. Les images aériennes acquises ont été traitées pour produire une orthophoto d'une résolution spatiale de 10 centimètres.

Le drone R-POD (R pour « Air » et Pod pour « Photogrammetry on demand ») a été développé dans le but de fournir un service de photogrammétrie à la demande, qui permette d'assurer une acquisition de géo-données rapide, fiable, simple et bon marché. Cet appareil est conçu pour prendre des images aériennes sur une surface allant de l'hectare au kilomètre carré. Il est principalement constitué d'une aile en polystyrène dont l'envergure est environ de 70 centimètres

(figure 22). Plusieurs capteurs y sont intégrés, notamment 1 appareil photo, 1 batterie, 1 station inertielle et 1 GPS⁴. R-POD a été développé par Julien Brahier, Nicolas Ferreira et Rémi Bovard en 2010⁵ et est maintenant utilisé par la Haute École d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud située à Yverdon-les-Bains.



Fig 22: drone R-POD

3.4.3 Exploitation de l'orthophoto

L'orthophoto a été exploitée lors du traitement des données : les points de chaque sortie des chevaux de sport ont été sélectionnés manuellement avant de servir de base au calcul de différents résultats. L'orthophoto a aussi permis de créer des polygones correspondant aux différentes zones d'intérêt dans les stabulations libres. Ces polygones ont été directement utilisés pour connaître l'emplacement des chevaux au sein des stabulations libres. Les figures 23 et 25 ci-dessous montrent l'orthophoto au niveau des stabulations libres, et les figures 24 et 26 illustrent les polygones saisis, dont l'aire est mentionnée dans le tableau 5 ci-dessous.

Stabulation libre 1		Stabulation libre 2		
Surface totale	714,85 m ²	Surface totale	816,79 m ²	
Abreuvoir	0,58 m ²	Abreuvoir	1,69 m ²	
Abreuvoir (tampon 1 mètre)	6,79 m ²	Abreuvoir (tampon 1 mètre)	10,25 m ²	
Râtelier	7,52 m ²	Râtelier	9,07 m ²	
Râtelier (tampon 1 mètre)	21,67 m ²	Râtelier (tampon 1 mètre)	24,21 m ²	
Foin	37,3 m ²	Foin	37,3 m ²	
Paille	169,11 m ²	Grains	7,22 m ²	
Béton	195,48 m ²	Sable	38,97 m ²	
Structure alvéolée	308,15 m ²	Structure alvéolée	657,34 m ²	
Abris	Paille	200,24 m ²	Sciure (nord)	35,04 m ²
	Foin	47,73 m ²	Sciure (sud)	28,91 m ²
Zone inaccessible	4,5 m ²	Abris	Grains	17,44 m ²
-	-		Foin	80,83 m ²
-	-		Sciure nord	42,26 m ²
-	-		Sciure sud	36,41 m ²
-	-	Zone inaccessible		7,18 m ²

Tableau 5: aire des différentes zones des stabulations libres

4 Site internet : <http://www.r-pod.ch/>

5 Benoît Schnell, communication personnelle, juin 2014

	Abreuvoir		Foin		Béton
	Abreuvoir (tampon 1 mètre)		Grains		Structure alvéolée
	Râtelier		Paille		Sable
	Râtelier (tampon 1 mètre)		Zones abritées		Sciure



Fig 23: orthophoto de la stabulation libre 1

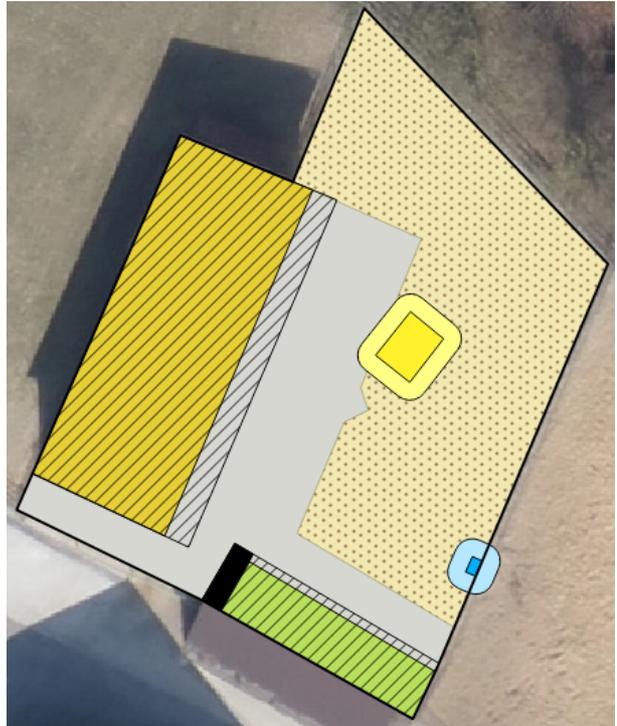


Fig 24: polygones créés dans la stabulation libre 1



Fig 25: orthophoto de la stabulation libre 2

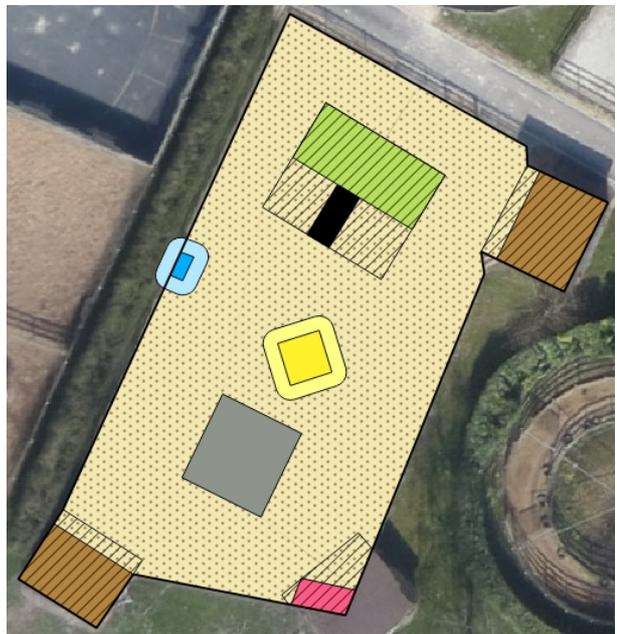


Fig 26: polygones créés dans la stabulation libre 2

3.5 Traitement des données récoltées

Les points acquis par les GPS dans les différentes situations de détention des chevaux ont été exportés puis traités. Dans un premier temps, les données ont été triées : seules la date, l'heure, la longitude et la latitude ont été utilisées et reformatées. Les longitudes et latitudes, exprimées en coordonnées globales, ont été transformées en coordonnées suisses grâce à l'outil « reframe » mis à

disposition par Swisstopo⁶.

Ensuite, les données ont été couplées à l'orthophoto ou aux polygones créés dans le but d'associer les points GPS acquis aux infrastructures du haras et aux éléments des stabulations libres.

Puis, plusieurs résultats différents ont été produits : les distances parcourues dans les différentes configurations de détention, le temps consacré à chaque activité dans les stabulations libres et le temps passé dans chaque zone des stabulations libres. Les interactions sociales au sein des stabulations libres ont aussi été mesurées. Enfin, une analyse de type réseau a été effectuée d'une part pour étudier les relations sociales au sein des groupes et d'autre part pour analyser les déplacements des chevaux entre les différents éléments des stabulations libres.

3.5.1 Distances parcourues dans les différents systèmes de détention

Les distances parcourues ont été calculées pour chaque type de détention.

Dans les stabulations libres, 3 valeurs ont été calculées pour chaque jument : la distance journalière moyenne parcourue dans toute la stabulation et les distances journalières moyennes parcourues sur chacun des 2 types de sol. Les valeurs minimales, maximales et moyennes ont alors été déduites pour chaque zone considérée, tous chevaux confondus.

La distance journalière totale a été calculée à partir des données récoltées hors des abris⁷ pour 2 raisons : sous les abris, un grand nombre des points enregistrés était faux, ce qui risquait de sur-évaluer la distance. De plus, il était raisonnable de supposer que les juments n'ont pas parcouru beaucoup de mètres sous les abris car ceux-ci ne le permettaient pas, de par leur taille ou leur agencement. Cette hypothèse reste néanmoins discutable pour l'abri à paille de la stabulation libre 1.

Pour les chevaux de box, plusieurs valeurs ont été calculées pour chaque type de sortie : la durée, la distance et la distance horaire. Les valeurs minimales, maximales et moyennes ont alors été calculées pour chaque type de sortie, tous chevaux confondus. Ces valeurs ont été calculées également selon les types de sol (sable ou copeaux) pour les sorties au parc, et selon le lieu (extérieur ou intérieur) pour les séances de travail.

3.5.2 Temps consacré aux différentes activités dans les stabulations libres

La vie d'un cheval s'organise autour de différentes activités, et quelques-unes ont pu être identifiées dans les stabulations libres : s'alimenter, s'hydrater, se déplacer et se reposer. Pour chaque cheval, le temps journalier consacré à chaque activité, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement, a été calculé. À partir de ces valeurs, le temps minimum, le temps maximum et le temps moyen consacrés à chaque activité ont été calculés, tous chevaux confondus.

Le temps d'alimentation correspond aux moments où les chevaux se trouvaient dans un périmètre de 1 mètre⁸ autour des râteliers, dans la zone de distribution automatique de grains et dans les zones d'affouragement aux horaires où le foin était accessible.

Le temps d'hydratation a été calculé à partir des points enregistrés dans un périmètre de 1 mètre autour des abreuvoirs.

Le déplacement correspond aux moments où le cheval marchait pour se rendre d'un point à un autre. Le temps de déplacement a été calculé sur la base des points situés dans les zones à l'air libre, lorsque la vitesse des animaux était supérieure à 2 kilomètres par heure. L'hypothèse a été faite qu'en dessous de cette vitesse, qui correspond à un pas très lent, il ne s'agit pas vraiment d'un déplacement.

6 Site internet : <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/apps/calc/reframe.html>

7 Les zones situées sous les avant-toits ont toutefois été prises en compte.

8 Pour les râteliers et les abreuvoirs, une zone tampon de 1 mètre a été choisie car le collier ne se trouvait pas forcément exactement au même niveau que l'élément. Une valeur plus grande risquait de prendre en compte des juments restées là à se reposer.

Enfin, le temps de repos a été calculé à partir des points enregistrés à plus de 80 secondes d'intervalle. Tous les temps de repos ont été comptabilisés et classés en fonction de leur durée, pour chaque cheval. À partir de ces valeurs, le nombre minimum, le nombre maximum et le nombre moyen de repos ont été calculés pour chaque classe, tous chevaux confondus.

3.5.3 Temps passé dans chaque zone des stabulations libres

Les stabulations libres ont été divisées en zones et le temps journalier passé dans chacune de ces zones a été calculé, pour chaque cheval et en moyenne sur toute la période d'enregistrement, selon 3 versions. Le temps minimal, le temps maximal et le temps moyen passés dans chaque zone ont alors été déduits, tous chevaux confondus et pour chaque version.

Dans la première stabulation libre, les places d'intérêts sont : l'abreuvoir (zone tampon de 1 mètre), la zone d'accès au foin (stalles d'affouragement), l'intérieur de l'abri contenant la paille, le râtelier à paille (zone tampon de 1 mètre), la structure alvéolée, le béton et la zone hors de la stabulation libre. Dans la seconde stabulations, ces places sont : l'abreuvoir (zone tampon de 1 mètre), la zone d'accès au foin, la stalle individuelle de distribution des grains, le râtelier à paille, l'intérieur des 2 cabanes avec sol en sciure, le carré en sable, la structure alvéolée et l'extérieur de la stabulation. Il convient de mentionner que ces zones choisies ne se chevauchaient pas. Par exemple, la zone correspondant à la structure alvéolée ne contenait pas la zone de l'abreuvoir.

La première version prenait en compte les résultats bruts. Les 2 autres versions ont permis de diminuer le nombre de points situés hors de la stabulation, qui représentaient aux alentours de 42 % des points dans la première stabulation libre, et 33 % dans la seconde. La deuxième version a été élaborée à partir de l'hypothèse suivante : lorsque les points indiquent que le cheval se trouvait dans une certaine zone « z » de la stabulation libre, puis hors de la stabulation libre, puis à nouveau dans la même zone « z » de la stabulation libre, le cheval est probablement resté dans la zone « z ». Les points situés hors de la stabulation sont alors attribués à la zone « z ». La troisième version a été réalisée à partir de l'hypothèse suivante, en plus de celle de la seconde version : lorsque les points indiquent que le cheval se trouvait dans une certaine zone abritée « a », puis hors de la stabulation, puis dans une certaine zone découverte « d », alors il est plausible que le signal aie été perdu lorsque le cheval était sous l'abri, et retrouvé lorsque le cheval s'est déplacé vers la zone non-abritée. Les points situés hors de la stabulation sont alors attribués à la zone abritée « a ».

3.5.4 Interactions sociales au sein des stabulations libres

Afin de mesurer les interactions sociales au sein des stabulations libres, une possibilité offerte par le GPS était de compter le nombre de contacts rapprochés entre les individus : chaque jour, le nombre de fois où 2 individus ont été éloignés de moins de 3 mètres a été comptabilisé, puis la moyenne des 10 jours d'enregistrement a été calculée. Pour chaque cheval, le nombre total de contacts par jour, en moyenne sur toute la période d'enregistrement, a alors été déduit.

La valeur seuil de 3 mètres a été choisie en tant que compromis : d'un côté les mesures GPS de faible précision ne permettaient pas de réduire cette distance, et de l'autre une distance plus grande ne serait pas adaptée pour qualifier les contacts rapprochés entre les chevaux.

3.5.5 Analyses de type réseau

Un réseau est une collection d'objets, appelés nœuds, connectés entre eux par des liens. Tout système peut prendre la forme d'un réseau, les exemples courants sont les réseaux sociaux, neuronaux ou routiers, mais le réseau des citations des articles scientifiques ou celui constitué par les vaisseaux sanguins en sont aussi.

Au sein des stabulations libres, plusieurs systèmes peuvent être analysés comme des réseaux. Le premier, le plus manifeste, est le réseau des interactions sociales entre les chevaux. Le

second est le réseau des déplacements des chevaux de place en place dans les stabulations.

Dans le premier réseau effectué, les nœuds sont des chevaux et les liens correspondent au nombre de contacts rapprochés entre 2 individus. Les liens entre les individus ont été progressivement filtrés, c'est-à-dire que seuls les nombres de contacts rapprochés élevés ont été préservés. Cette opération a laissé apparaître la structure du groupe, notamment les affiliations principales des chevaux et les individus mis à l'écart.

Dans le second réseau réalisé, les nœuds sont les différents points d'intérêt⁹ des stabulations libres, et les liens représentent les déplacements des chevaux entre ces points. Parmi les différentes représentations possibles, l'affichage des nœuds selon leur degré et leur « betweenness » a été choisi. Le degré correspond au nombre de liens incidents, et la « betweenness » quantifie l'importance d'un nœud au sein d'un réseau¹⁰. Par exemple, un nœud avec une forte « betweenness » pu être vu comme un passage obligé pour aller d'un point à un autre du réseau. Les liens ont été représentés en fonction de leur poids, c'est-à-dire du nombre de déplacements entre 2 points.

3.5.6 Récapitulatif

Les étapes de traitement des données décrites précédemment sont synthétisées dans le diagramme présenté à la figure 27. Le tableau 6 décrit les logiciels utilisés.

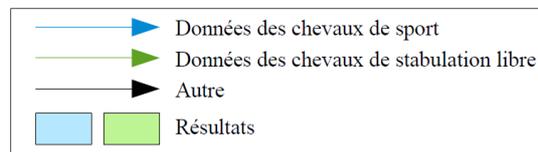


Fig 27: étapes principales du processus de traitement des données

⁹ Il s'agit des mêmes places que dans la partie « 3.5.3 Temps passé dans chaque zone ».

¹⁰ Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D.-U., 2006. Complex Networks : structure and dynamics. Physics Reports 424, 175-308.

Logo	Nom	Description
	Matlab	Langage et environnement interactif pour le calcul numérique, la visualisation et la programmation
	QGIS	Système d'information géographique libre
	PostgreSQL (+ extension PostGIS)	Système de gestion de base de données libre
	Gephi	Plate-forme interactive libre pour la visualisation de tous types de réseaux

Tableau 6: logiciels utilisés lors du traitement des données

4 Résultats

4.1 Distances parcourues dans les différents systèmes de détention

Les distances parcourues par les chevaux dans leurs systèmes de détention respectifs sont présentées ci-dessous : les distances parcourues dans les stabulations libres par les juments vivant en groupe, les distances parcourues lors des sorties au parc et des séances de marche pour les chevaux hébergés en box, et les distances parcourues lors des séances de travail par les chevaux de sport. Ces distances parcourues dans chacune des configurations ont permis d'élaborer des scénarios de détention de chevaux types hébergés dans différents systèmes, et de connaître les distances moyennes parcourues dans chaque cas de figure envisagé.

4.1.1 Distances parcourues dans les stabulations libres

Les distances journalières parcourues par les juments, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement, dans toute la stabulation ainsi que sur les différents types de sol font l'objet des figures 28 et 29 ci-dessous. Les valeurs sont disponibles à l'annexe 3. Les valeurs minimales, maximales et moyennes de ces distances, tous chevaux confondus, sont présentées dans le tableau 7.

Les distances journalières parcourues dans toute la zone des stabulations s'étalent entre 982 et 4 885 mètres dans la première stabulation et entre 2 114 et 8 095 mètres dans la seconde.

D'importantes disparités sont visibles d'un cheval à l'autre : dans la première stabulation libre, Hill's Birdy parcourait en moyenne presque 3,3 kilomètres par jour alors que Romance parcourait à peine 1,9 kilomètres. La différence est également considérable dans la deuxième stabulation libre, entre ET1 qui parcourait 3,6 kilomètres par jour en moyenne et Retinella qui en parcourait 6,1.

La distance journalière, tous chevaux confondus, parcourue dans la stabulation libre 2, valant 4 947 mètres, est presque 2 fois plus grande que celle parcourue dans la première stabulation, valant 2 610 mètres.

Dans la première stabulation libre, les distances parcourues par jour en moyenne, tous chevaux confondus, sur les 2 types de sol sont proches alors que la surface de la zone bétonnée représente environ 60 % de la surface de la structure alvéolée.

Dans la seconde stabulation libre, la surface du carré en sable représente environ 6 % de la surface occupée par la structure alvéolée. La distance parcourue en moyenne par jour, tous chevaux confondus, sur le sable représente moins de 3 % de la distance parcourue sur la structure alvéolée.

Fig 28: Distances journalières moyennes parcourues par les chevaux de la stabulation libre 1

Fig 29: Distances journalières moyennes parcourues par les chevaux de la stabulation libre 2

		Stabulation libre 1			Stabulation libre 2		
Nombre de chevaux		12			4		
Zone		Tout	Béton	Alvéoles	Tout	Alvéoles	Sable
Surface		503.63 m ²	195.48 m ²	308.15 m ²	696.31 m ²	657.34 m ²	38.97 m ²
Distance journalière	Minimale	982 m	206 m	420 m	2 114 m	1 968 m	18 m
	Maximale	4 885 m	2 358 m	2 498 m	8 095 m	7 639 m	469 m
	Moyenne	2610 m	1 096 m	1 079 m	4 947 m	4 596 m	125 m

Tableau 7: distances journalières minimales, maximales et moyennes parcourues dans les stabulations libres pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus

4.1.2 Distances parcourues lors des sorties au parc, des séances de marcheur et des séances de travail

Sorties au parc

Les distances horaires parcourues lors des sorties au parc sont représentées sur la figure 30 pour les sols en copeaux, et sur la figure 31 pour les sols en sable. Ces valeurs sont disponibles à l'annexe 3. Le tableau 8 ci-dessous présente les valeurs minimales, maximales et moyennes toutes sorties confondues, ainsi que les valeurs moyennes pour les aires de sorties en copeaux et en sable de la durée, la distance et la distance horaire des sorties.

Les sorties au parc des chevaux hébergés en box ont duré au minimum 50 minutes et 29 secondes et au maximum 6 heures 25 minutes et 44 secondes. Les distances horaires parcourues lors des sorties au parc s'étalent entre 541 et 4 306 mètres, soit du simple au triple.

La distance horaire parcourue lors des sorties au parc varie beaucoup d'un cheval à l'autre. Par exemple Quistar parcourait de grandes distances par heure, au contraire de Richmann.

La distance horaire moyenne, tous chevaux confondus, parcourue dans les sorties avec sol en sable vaut 1 018 mètres alors que celle parcourue dans les aires de sortie avec sol en copeaux est de 1 850 mètres.

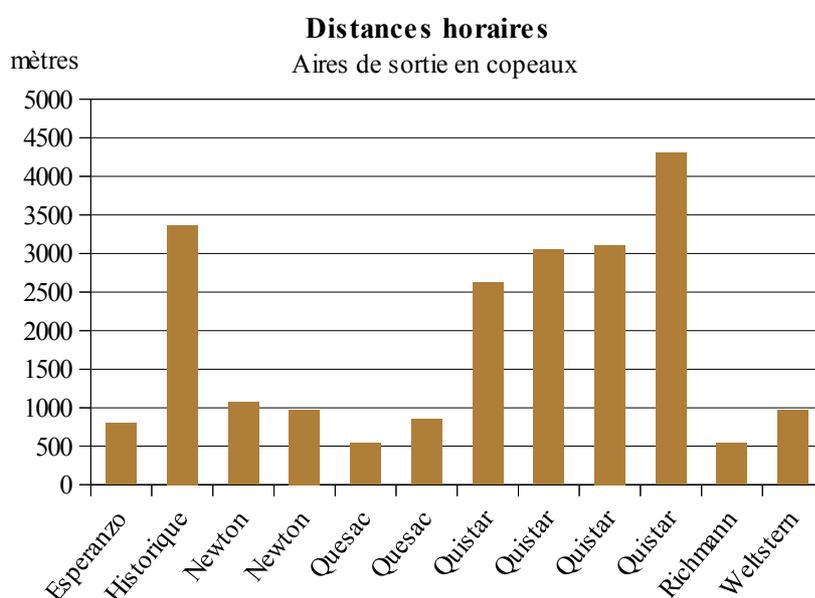


Fig 30: distances horaires parcourues dans les aires de sortie en copeaux

Fig 31: distances horaires parcourues dans les aires de sortie en sable

	Toutes			Copeaux	Sable
Nombre de sorties	16			12	4
Valeur	Minimum	Maximum	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Durée	50m 29s	6h 25m 44s	2h 16m 21s	2h 19m 36s	2h 06m 33s
Distance	535 m	7 325 m	3 188 m	3 566 m	2 054 m
Distance horaire	541 m	4 306 m	1 642 m	1 850 m	1 018 m

Tableau 8: valeurs minimales, maximales et moyennes de la durée, la distance et distance horaire des sorties au parc, tous chevaux confondus

Séances de marcheur

Les distances horaires parcourues lors des séances de marcheur sont représentées sur la figure 32 ci-dessous. Les valeurs sont disponibles à l'annexe 3. Le tableau 9 présente les valeurs minimales, maximales et moyennes de la durée, la distance et la distance horaire des séances de marcheur, tous chevaux confondus.

Les distances horaires parcourues par les chevaux dans le marcheur ne varient pas beaucoup. La distance horaire moyenne, tous chevaux confondus, est de 5 802 mètres. Par contre, la durée des séances varie entre 3 minutes et 16 secondes et 2 heures 53 minutes et 59 secondes.

Fig 32: distances horaires parcourues lors des séances de marcheur

Nombre de sorties	13		
Valeur	Minimum	Maximum	Moyenne
Durée	3m 16s	1h 53m 59s	1h 15m 14s
Distance	317 m	11 028 m	7 298 m
Distance horaire	5 249 m	6 368 m	5 802 m

Tableau 9: valeurs minimales, maximales et moyennes de la durée, la distance et la distance horaire des séances de marcheur, tous chevaux confondus

Séances de travail

Les distances horaires parcourues lors des séances de travail exécutées à l'extérieur sont représentées sur la figure 33 et lors des séances déroulées en partie ou en intégralité à l'intérieur sur la figure 34. Les valeurs sont disponibles à l'annexe 3. Le tableau 10 ci-dessous présente les valeurs minimales, maximales et moyennes toutes séances confondues ainsi que les valeurs moyennes pour les séances effectuées à l'extérieur et à l'intérieur de la durée, la distance et la distance horaire des séances.

Les séances de travail ont duré au minimum 23 minutes et 44 secondes et au maximum 1 heure et 31 minutes, pour une moyenne de 51 minutes et 47 secondes. La distance horaire varie beaucoup, de 2 588 mètres à 11 156 mètres, pour une moyenne de 7 391 mètres.

La distance horaire est très différente pour les séances déroulées à l'extérieur, avec une valeur de 9 094 mètres et les séances passées à l'intérieur, avec une valeur de 5 499 mètres.

Fig 33: distances horaires parcourues lors des séances de travail passées à l'extérieur

Fig 34: distances horaires parcourues lors des séances de travail passées à l'intérieur

	<i>Toutes</i>			<i>Extérieur</i>	<i>Intérieur</i>
Nombre de sorties	19			10	9
Valeur	Minimum	Maximum	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Durée	23m 44s	1h 31m 00s	51m 47s	49m 43s	54m 06s
Distance	2 036 m	12 380 m	6 287 m	7 395 m	5 055 m
Distance horaire	2 588 m	11 156 m	7 391 m	9 094 m	5 499 m

Tableau 10: valeurs minimales, maximales et moyennes de la durée, la distance et la distance horaire des séances de travail, tous chevaux confondus

4.1.3 Scénarios pour les systèmes de détention actuels

Les résultats obtenus ci-dessus ont permis de calculer les distances journalières parcourues par les chevaux dans différents scénarios de détention, qui sont présentés dans le tableau 11. Les scénarios proposés sont basés sur les hypothèses suivantes : les sorties au parc ont une durée de 2 heures 16 minutes et les chevaux s'y déplacent avec une vitesse de 1 642 mètres par heure, les séances de marcheur ont une durée de 1 heure 15 minutes et les chevaux s'y déplacent avec une vitesse de 5 802 mètres par heure, les séances de travail ont une durée de 52 minutes et les chevaux s'y déplacent avec une vitesse de 7 391 mètres par heure. Ces valeurs découlent directement des durées¹¹ et distances horaires moyennes présentées plus haut.

Les différents scénarios envisagés ont des distances journalières parcourues très variables. Les distances augmentent en fonction du nombre de sortie.

¹¹ Durées arrondies à la minute la plus proche

Scénario		Détention	Sortie au parc	Séance de marcheur	Séance de travail	Distance journalière parcourue
Sans sortie	1	Stabulation libre 1	-	-	-	2 610 m
	2	Stabulation libre 2	-	-	-	4 947 m
1 sortie	3	Stabulation libre 1	-	-	Oui	8 769 m
	4	Stabulation libre 2	-	-	Oui	11 106 m
	5	Box	Oui	-	-	3 695 m
	6	Box	-	Oui	-	7 253 m
	7	Box	-	-	Oui	6 159 m
2 sorties	8	Box	Oui	-	Oui	9 854 m
	9	Box	-	Oui	Oui	13 412 m
	10	Box	Oui	Oui	-	10 948 m
3 sorties	11	Box	Oui	Oui	Oui	17 101 m

Tableau 11: distances journalières parcourues dans les scénarios de détention envisagés

4.2 Activités pratiquées dans les stabulations libres

4.2.1 Temps consacré à chaque activité

Les activités du cheval sont nombreuses, et seules certaines d'entre elles ont pu être identifiées à l'aide du GPS : s'alimenter, s'hydrater, se déplacer et se reposer. Les temps journaliers consacrés à ces activités, en moyenne pour toute la durée des mesures et tous chevaux confondus, sont présentés dans le tableau 12 ci-dessous. Les valeurs journalières moyennes pour chaque cheval sont disponibles à l'annexe 3. La répartition journalière du temps entre les différentes activités, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, est illustrée par les figures 35 et 36 ci-dessous. Les figures 37 et 38 présentent la répartition journalière moyenne du temps, pour toute la durée des mesures, de 2 chevaux très différents vivant dans la première stabulation libre, Petite Rose et Lady.

Les différentes activités identifiées ne représentent pas 24 heures, il reste environ 8 heures par jour où l'activité n'est pas clairement identifiée.

Pour l'hydratation, les résultats des 2 stabulations libres sont proches. En revanche, la différence est nette du point de vue du temps d'alimentation, qui passe presque du simple au double de la secondes à la première stabulation libre, et du temps de déplacement, presque 3 fois plus important dans la seconde stabulation. Cette différence existe aussi pour le temps de repos, de 2 heures plus grand dans la première stabulation libre.

Les répartitions du temps entre les différentes activités pour les 2 juments Petite Rose et Lady sont très différentes. Ceci se constate notamment au niveau de l'alimentation, qui représente environ 7,8 % chez Petite Rose et 14,4 % chez Lady, mais aussi au niveau de repos. Petite Rose y consacre 46 % de son temps alors que Lady y accorde plus de 61 % de son temps.

	Alimentation	Hydratation	Déplacement	Repos	Repos foin ¹²
Stabulation libre 1	2h 43m 37s	6m 20s	36m 37s	12h 38m 49s	1h 43m 26s
Stabulation libre 2	1h 42m 04s	6m 10s	1h 22m 39s	10h 33m 40s	1h 05m 37s

Tableau 12: temps journalier moyen, tous chevaux confondus et pour toute la durée de

¹² Repos passé dans la zone d'affouragement

Fig 35: répartition journalière du temps entre les différentes activités, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus, dans la stabulation libre 1

Fig 36: répartition journalière du temps entre les différentes activités, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus, dans la stabulation libre 2

Fig 37: répartition journalière du temps entre les différentes activités, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement, de Petite Rose

Fig 38: répartition journalière du temps entre les différentes activités, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement, de Lady

4.2.2 Nombre de repos

Le temps de repos présenté plus haut est composé de plusieurs repos de différentes durées. Le nombre de repos de chaque durée choisie, comptabilisé par jour, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus, fait l'objet du tableau 13 ci-dessous.

Le nombre de repos décroît avec l'augmentation de la durée du repos. Les repos d'une durée supérieure à 60 minutes n'ont pas été observés sur tous les chevaux. Le nombre moyen de repos de chaque durée n'est pas très différent d'une stabulation libre à l'autre.

	Durée du repos					
	< 5min	5 à 10 min	10 à 15 min	15 à 30 min	30 à 60 min	> 60 min
Stabulation libre 1	190	18	6,6	5,9	2,3	0,7
Stabulation libre 2	222	23	8,9	6,4	1,9	0,4

Tableau 13: nombre de repos de chaque durée comptabilisé par jour, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus

4.3 Temps passé dans chaque zone des stabulations libres

Les stabulations libres ont été divisées en différentes zones, et le temps passé par jour dans chacune d'entre elles, en moyenne pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus, est présenté dans le tableau 14 ci-dessous selon les 3 versions. La répartition du temps entre les différentes zones est visible sur les figures 39 à 44 ci-dessous.

Dans les versions 2 et 3, le temps passé hors de la stabulation libre est beaucoup plus faible que dans la première version. Le temps passé hors de la stabulation, très grand dans la version 1, se répartit principalement entre le foin, la paille et le béton dans les versions 2 et 3 dans la première stabulation libre. Dans la seconde, ce temps se répartit principalement entre la structure alvéolée et les cabanes avec sol en sciure.

La principale différence entre les 2 stabulations libres est la proportion du temps passé hors des abris. Dans la première stabulation libre, les juments passent beaucoup de temps dans la zone d'affouragement et dans le grand abri avec sol recouvert de paille, alors que dans la seconde elles sont très souvent à l'air libre.

	Stabulation libre 1			Stabulation libre 2		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	5m 05s	6m 20s	6m 20s	5m 49s	6m 10s	6m 10s
Alvéoles	3h 33m 47s	4h 13m 34s	4h 13m 34s	12h 04m 41s	16h 34m 42s	16h 34m 42s
Béton	4h 35m 19s	5h 24m 07s	5h 24m 07s	-	-	-
Foin	1h 11m 51s	2h 40m 59s	4h 09m 20s	1h 04m 20s	1h 05m 06s	1h 16m 44s
Grains	-	-	-	7m 47s	9m 18s	15m 05s
Hors stabulation	10h 02m 58s	5h 34m 34s	3h 08m 22s	7h 50m 30s	2h 41m 38s	1h 29m 15s
Paille	3h 46m 13s	5h 15m 28s	6h 13m 19s	-	-	-
Râtelier	36m 38s	36m 49s	36m 49s	1h 16m 57s	1h 16m 57s	1h 16m 57s
Sable	-	-	-	32m 27s	32m 27s	32m 27s
Sciure nord	-	-	-	17m 04s	22m 34s	42m 53s
Sciure sud	-	-	-	37m 35s	1h 08m 20s	1h 42m 59s

Tableau 14: temps journalier moyen passé dans chaque zone des stabulations libres, pour toute la durée de l'enregistrement et tous chevaux confondus, selon les 3 versions

Fig 39: répartition du temps journalier passé dans les zones de la stabulation libre 1, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, selon la version 1

Fig 40: répartition du temps journalier passé dans les zones de la stabulation libre 1, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, selon la version 2

Fig 41: répartition du temps journalier passé dans les zones de la stabulation libre 1, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, selon la version 3

Fig 42: répartition du temps journalier passé dans les zones de la stabulation libre 2, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, selon la version 1

Fig 43: répartition du temps journalier passé dans les zones de la stabulation libre 2, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, selon la version 2

Fig 44: répartition du temps journalier passé dans les zones de la stabulation libre 2, en moyenne pour tous les chevaux et pour toute la durée de l'enregistrement, selon la version 3

4.4 Interactions sociales

Hierarchie

Dans tout groupe d'équidés, une hiérarchie est établie entre les individus. Au sein de la première stabulation libre, un test de hiérarchie a été conduit par le haras national en avril 2014. Les résultats de ce test sont présentés dans le tableau 15 ci-dessous. Les rangs des juments dominantes et dominées ont été clairement identifiés, mais pour les autres le résultat est moins net.

Cheval	Rang	Statut	Fiabilité
Malenka	1	dominante	bonne
Roxena	2	dominante	bonne
Gloria	3	dominante	bonne
Hill's Birdy	4	dominante	bonne
Dynamic	5	intermédiaire	faible
Petite Rose	6	intermédiaire	faible
Chappala	7	intermédiaire	faible
Monia	8	intermédiaire	faible
Romance	9	intermédiaire	faible
Pina Way	10	intermédiaire	faible
Lady	11	dominée	bonne
Fary	12	dominée	bonne

Tableau 15: résultats du test de hiérarchie conduit dans la première stabulation libre en avril 2014

Contacts rapprochés

Les interactions sociales ont été étudiées en identifiant les moments où les chevaux avaient des contacts rapprochés. Le nombre de fois par jour, en moyenne pour toute la durée des mesures, où 2 individus ont été éloignés de moins de 3 mètres, dans les stabulations libres, est disponible dans les tableaux 16 et 17. Le nombre total de contacts comptabilisés par jour en moyenne pour chaque cheval est aussi présent dans les tableaux 16 et 17.

Les contacts totaux journaliers par cheval sont plus importants chez les juments de la stabulation libre 2, compris entre 2768 et 4046 que chez les juments de la stabulation libre 1, compris entre 1149 et 2214. Dans la stabulation libre 1, les 3 individus qui ont le moins de contacts rapprochés sont Pina Way, Fary et Gloria et ceux qui en ont le plus sont Chappala, Dynamic et Petite Rose. Dans la seconde stabulation libre, ET1 est celle qui a le moins de contacts rapprochés, et Retinella celle qui en a le plus.

De plus, les contacts varient beaucoup selon les binômes formés par un même cheval. Par exemple, Malenka et Roxena ont eu en moyenne 503 contacts rapprochés par jour, alors que Roxena et Pina Way en ont eu seulement 86.

Il ne semble pas y avoir de lien direct entre la structure hiérarchique et le nombre contact rapprochés recensés.

Stabulation libre 1												
	PW	F	G	Mal	Mon	Rom	HB	L	Rox	C	D	PR
Pina Way (PW)	72	77	168	93	208	278	359	251	134	-	208	359
Fary (F)	136	131	159	277	171	219	143	171	369	208	-	230
Gloria (G)	200	-	88	64	125	76	124	165	109	77	131	162
Malenka (Mal)	56	88	-	109	97	84	202	108	147	168	159	181
Monia (Mon)	135	124	202	126	163	113	-	138	178	359	143	167
Romance (Rom)	138	165	108	107	216	195	138	-	122	251	171	290
Hill's Birdy (HB)	63	64	109	-	84	162	126	107	503	93	277	139
Lady (L)	77	125	97	84	-	210	163	216	135	208	171	264
Roxena (Rox)	106	162	181	139	264	200	167	290	149	359	230	-
Chappala (C)	-	200	56	63	77	80	135	138	86	72	136	106
Dynamic (D)	80	76	84	162	210	-	113	195	143	278	219	200
Petite Rose (PR)	86	109	147	503	135	143	178	122	-	134	369	149
TOTAL	1149	1321	1399	1727	1750	1760	1848	1901	2075	2207	2214	2247

Tableau 16: nombre de contacts rapprochés par jour, en moyenne pour toute la durée des mesures, au sein de la stabulation libre 1

Stabulation libre 2				
	ET1	ET2	Galanta	Retinella
ET1	-	805	1005	958
ET2	805	-	1132	1381
Galanta	1005	1132	-	1707
Retinella	958	1381	1707	-
TOTAL	2768	3318	3844	4046

Tableau 17: nombre de contacts rapprochés par jour, en moyenne pour toute la durée des mesures, au sein de la stabulation libre 2

Les contacts rapprochés entre les chevaux ont également été représentés par des réseaux, dans chacune des stabulations libres. Les figures 45 à 48 montrent différentes étapes du réseau social dans la seconde stabulation libre. À chaque étape, un filtre est appliqué : tous les liens dont le nombre de contacts est inférieur à une certaine valeur sont supprimés. Les figures 49 à 54 montrent le même processus opéré dans la première stabulation, plus complexe car elle contient 12 individus.

La filtration successive coupe des liens à chaque étape, ce qui a pour conséquence d'isoler certains éléments du réseau, par exemple Fary et Pina Way dans la première stabulation libre. Ce procédé permet également d'identifier les groupes de chevaux qui sont très proches. Dans la première stabulation libre, Malenka, Roxena et Dynamic forment un trio stable. Dans les 2 stabulations, un binôme particulièrement fort est observé : Galanta et Retinella dans la stabulation libre 2, et Malenka et Roxena dans la première stabulation libre.

Fary et Pina Way, les premières isolées du réseau de la stabulation libre 1, sont 2 juments en bas de la hiérarchie. En revanche, Malenka et Roxena, qui forment un binôme très solide, sont dominantes. L'étape 4 de la stabulation libre 1 permet de voir que Gloria, malgré son statut de dominante, n'a pas beaucoup de contacts rapprochés et se retrouve isolée.

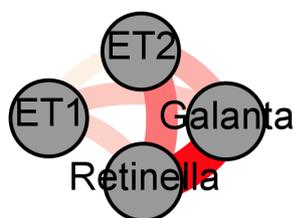


Fig 45: étape 1, aucune filtration

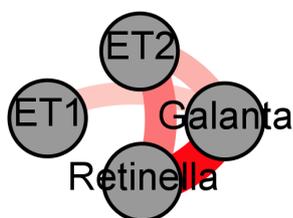


Fig 46: étape 2, nombre de contacts rapprochés supérieur à 1 000

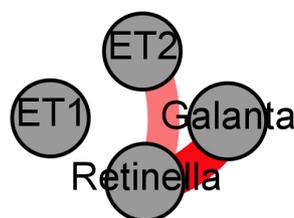


Fig 47: étape 3, nombre de contacts rapprochés supérieur à 1 200

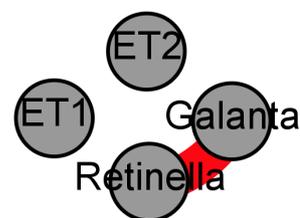


Fig 48: étape 4, nombre de contacts rapprochés supérieur à 1 400

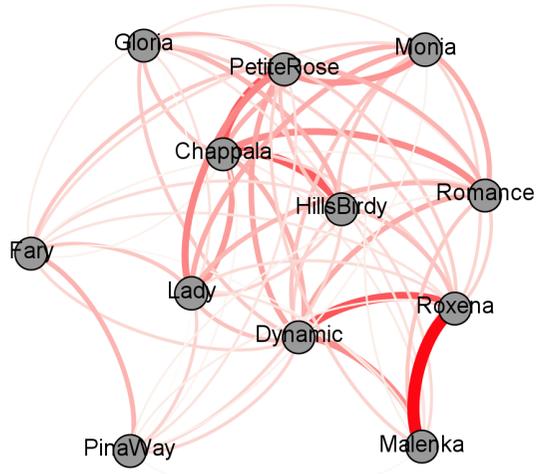


Fig 49: étape 1, aucune filtration

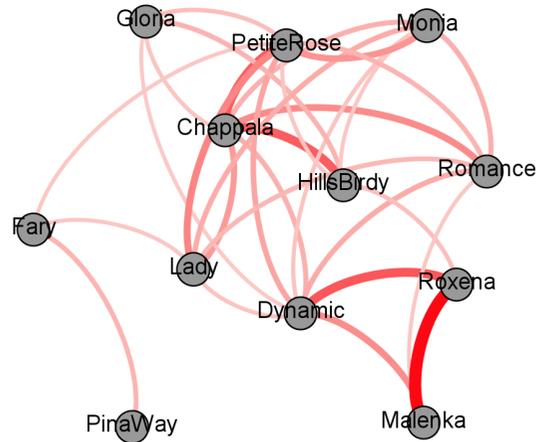


Fig 50: étape 2, nombre de contacts rapprochés supérieur à 150

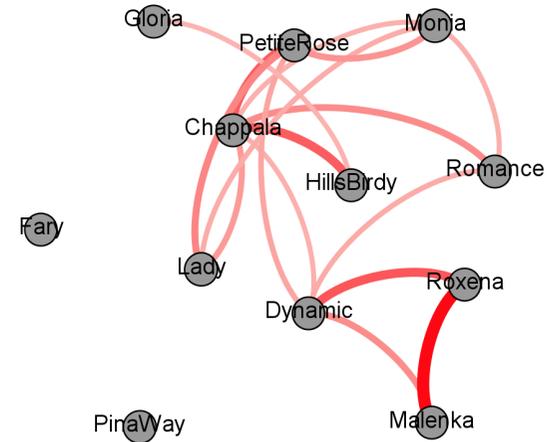


Fig 51: étape 3, nombre de contacts rapprochés supérieur à 200

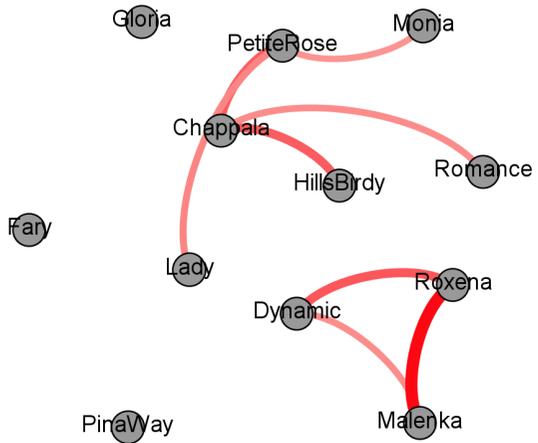


Fig 52: étape 4, nombre de contacts rapprochés supérieur à 250

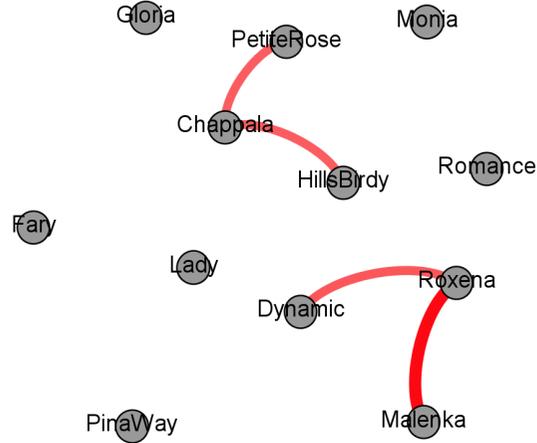


Fig 53: étape 5, nombre de contacts rapprochés supérieur à 300

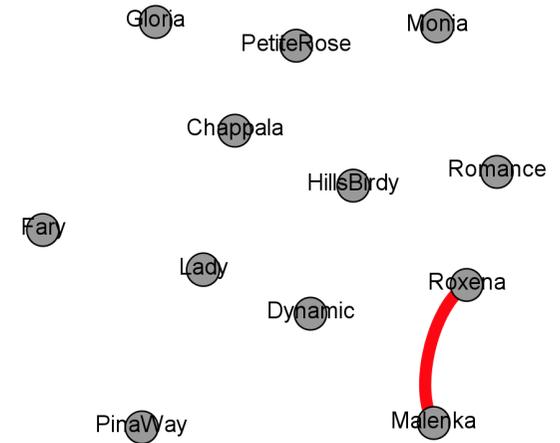


Fig 54: étape 2, nombre de contacts rapprochés supérieur à 400

4.5 Déplacements des chevaux entre les différentes places des stabulations libres

Les zones qui composent les stabulations libres ont été considérées comme des points d'intérêt, des places entre lesquelles les chevaux peuvent se mouvoir. Les résultats de l'analyse de type réseau des déplacements journaliers des chevaux entre ces places, en moyenne pour toute la durée des mesures et tous chevaux confondus, sont visibles ci-dessous. La figure 55 représente le réseau de la première stabulation libre et la figure 56 celui de la seconde. Les nœuds sont les différents points des stabulations, et les liens caractérisent le nombre journalier moyen de déplacements d'un point à un autre, tout chevaux confondus.

Puisque le nombre de liens incidents est le même pour tous les nœuds dans la première stabulation, il n'est pas possible de différencier les nœuds, que ce soit selon leur degré ou leur « betweenness », c'est la raison pour laquelle ils apparaissent tous de la même couleur et de la même taille. En revanche, le second réseau représente les nœuds selon leur « betweenness ». Dans les 2 cas les liens sont représentés par leur poids.

Dans la première stabulation libre, le réseau est centré autour de 3 éléments : les 2 types de sol et l'abri à paille. Le nœud abreuvoir est très décentré et s'oppose aux nœuds alimentaires que sont le foin et le râtelier.

Dans la seconde stabulation libre, le réseau s'organise autour de la structure alvéolée. Les liens principaux sont effectués avec le foin et le râtelier, soit les nœuds alimentaires. Le nœud abreuvoir est là aussi décentré. Les cabanes avec sol en sciure sont également en marge du réseau. La « betweenness » des nœuds indique que les zones les plus importantes et les plus fréquentées sont la structure alvéolée, le râtelier et l'extérieur de la stabulation. Au contraire, l'abreuvoir, les grains et les cabanes avec sol en sciure ne sont pas souvent visités, et constituent des destinations plus que des points de passage.

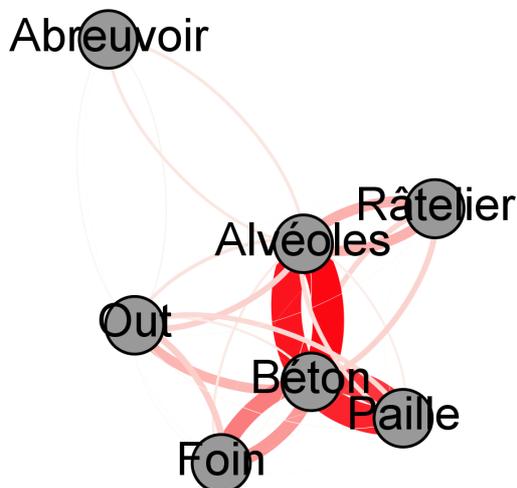


Fig 55: réseau des déplacements des chevaux au sein de la stabulation libre 1, les liens sont représentés selon leur poids

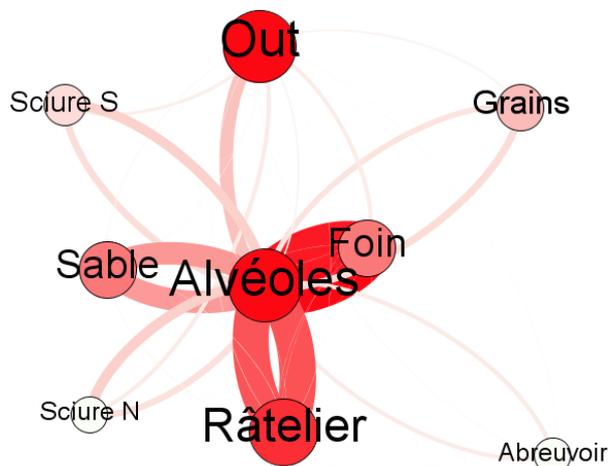


Fig 56: réseau des déplacements des chevaux au sein de la stabulation libre 2, les nœuds sont représentés selon leur « betweenness » et les liens selon leur poids

5 Discussion

Les résultats présentés plus haut doivent nécessairement être discutés. En effet, il est indispensable de les interpréter tout en prenant en considération les limites imposées par le dispositif bon marché utilisé. Les résultats mis en valeur chez les chevaux domestiques peuvent être comparés au comportement des chevaux sauvages, ce qui permet d'énoncer quelques dispositions concrètes pour améliorer la détention des chevaux domestiques.

Performance du dispositif

Le dispositif utilisé pour mesurer le comportement des chevaux au sein des systèmes de détention actuels était, dans l'ensemble, bien adapté à la situation même si 2 GPS sur 12 ont dysfonctionné pour une raison inconnue et ont cessé de s'allumer. Le détecteur de mouvement intégré à l'appareil a permis de mesurer des cycles de 48 heures dans près de 88% des cas. La fixation du dispositif sur les chevaux, très sommaire, a largement fait ses preuves malgré les doutes préalables. Les tresses ont bien tenu et les GPS sont restés à leur place, exceptés 3 fois où ils ont été perdus, sur les 98 fixations effectuées. Un seul des 3 GPS perdus a été retrouvé.

La seule erreur d'enregistrement détectée est un saut en arrière de l'horaire d'enregistrement, comme illustré sur la figure 57 ci-dessous. Cette erreur ne s'est produite que 6 fois sur les 4 000 000 de points enregistrés.

Cependant, la faiblesse principale de l'appareil est que la réception du signal était perturbée dès que les chevaux se trouvaient sous des abris, ce qui a eu pour conséquence de stopper l'enregistrement des points à certains moments. Il est également indispensable de rappeler que la précision du GPS indiquée par le constructeur, de 2,5 mètres, compromet à différents degrés la fiabilité des résultats.

```
26052,46.8882016,7.0163480,425.00,04/17/2014 03:36:17 PM,9.876,0.000,0.00,0.00
26053,46.8882016,7.0163480,425.00,04/17/2014 03:36:19 PM,9.876,0.000,0.00,0.00
26054,46.8882016,7.0163480,425.00,04/17/2014 03:36:21 PM,9.876,0.000,0.00,0.00
26055,46.8882080,7.0163496,425.00,04/17/2014 03:36:23 PM,9.877,0.001,10.00,1.30
26056,46.8882080,7.0163432,425.00,04/17/2014 03:36:09 PM,9.877,0.000,270.00,0.12
26057,46.8881920,7.0163352,425.00,04/17/2014 03:36:11 PM,9.879,0.002,199.00,3.38
26058,46.8881696,7.0163184,425.00,04/17/2014 03:36:13 PM,9.882,0.003,207.00,5.03
26059,46.8881632,7.0163184,424.00,04/17/2014 03:36:15 PM,9.883,0.001,180.00,1.28
```

Fig 57: erreur de l'horaire d'enregistrement qui présente un saut en arrière

Distances journalières parcourues dans les stabulations libres

En effet, cette faible précision mène à considérer avec prudence les résultats obtenus pour les distances journalières moyennes parcourues, tous chevaux confondus, dans les stabulations libres 1 et 2, valant respectivement 2 610 et 4 947 mètres. D'une part, les valeurs ont pu être sur-estimées : les juments n'étant pas très actives au sein de la stabulation libre, la faible précision du GPS fait que même si un cheval n'a presque pas bougé pendant les 2 secondes d'intervalle, le GPS a pu enregistrer un déplacement de quelques mètres. D'autre part, comme les distances ont été calculées à partir des zones à l'air libre, les distances parcourues dans les abris n'ont pas été prises en compte, en particulier dans le grand abri avec le sol en paille de la stabulation libre 1.

Malgré ces incertitudes, la différence entre les valeurs des 2 stabulations libres est assez importante pour laisser penser qu'il y a une réelle différence de comportement entre les juments : la seconde stabulation suscite presque 2 fois plus de déplacements que la première. Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine de cette différence. D'abord, la surface de la seconde stabulation libre (816,79 m²) est plus grande que celle de la première (714,85 m²), ce qui implique que la surface par cheval est beaucoup plus importante dans la seconde stabulation libre. En plus, la zone utilisée pour calculer ces distances journalières (zone à l'air libre) est plus grande, par rapport à la surface totale, dans la deuxième stabulation (85,2 %) que dans la première (70,5 %). Il y a donc un plus grand pourcentage de points utilisés dans la seconde stabulation libre que dans la première. D'autre part, il est probable que l'agencement des éléments au sein des stabulations induise aussi des

différences, comme l'ont montré Rose-Meierhöfer et al. en 2008. Dans la première stabulation libre, les éléments d'intérêt sont moins nombreux, et ils sont concentrés au même endroit, alors que dans la seconde ils sont davantage disséminés dans la zone, ce qui incite vraisemblablement les juments à voyager d'un bout à l'autre de la stabulation.

Préférences de types de sol dans les stabulations libres et les aires de sortie

L'agencement des éléments est certainement aussi la cause d'une plus faible distance journalière moyenne¹³ parcourue sur la structure alvéolée que sur le béton dans la première stabulation, relativement à la surface de chaque type de sol. En effet, la zone d'affouragement et l'abri contenant la paille, dans lesquels les juments passent beaucoup de temps, sont situés sur la partie en béton. La structure alvéolée ne contient que le râtelier à paille et l'abreuvoir. Il serait malvenu de conclure que les juments préfèrent marcher sur le béton car même si elles avaient une préférence pour la structure alvéolée, l'accès à l'alimentation, probablement plus important aux yeux d'un cheval que le type de sol, les obligerait à se mouvoir souvent sur le béton. Les résultats obtenus ne permettent donc pas de conclure quant à la préférence de type de sol dans la première stabulation libre.

Dans la seconde stabulation libre, il n'est pas non plus possible de tirer des conclusions. Le carré en sable est petit, et tous les autres éléments sont uniquement accessibles par la structure alvéolée, ce qui fait que la distance parcourue est plus grande sur la structure alvéolée que sur le sable, relativement à la surface de chaque type de sol. Tout ce qui peut être supposé est que les juments n'évitent pas le sable, à en juger par la distance moyenne parcourue sur cette zone, de 124 mètres, qui correspond environ à 12 traversées du carré par jour.

Hélas, les résultats ne sont pas plus probants pour les données récoltées lors des sorties au parc des chevaux hébergés en box. En effet, même si la distance horaire moyenne¹⁴ parcourue dans les aires de sortie en copeaux (1 850 mètres) est presque 2 fois plus importante que celle parcourue dans les aires de sortie en sable (1 018 mètres), cette différence peut plausiblement être attribuée au fait que les distances horaires dépendent beaucoup du cheval et de son caractère. Les caractéristiques du cheval, comme son âge, son sexe ou sa race sont des facteurs d'influence sur le comportement, notamment lors des sorties au parc. Il est également important de mentionner que des facteurs extérieurs peuvent perturber les tendances naturelles des chevaux, comme le rapprochement et l'éloignement d'autres chevaux ou un bruit effrayant, ce qui rend un peu plus difficile l'identification de leurs préférences. De plus, le nombre de chevaux suivis lors des sorties au parc est trop faible pour que les résultats soient fiables, en particulier pour les sols en sable, avec seulement 4 individus.

Distances horaires lors des sorties au parc

Pour les mêmes raisons, la distance parcourue en moyenne¹⁵ par heure lors des sorties au parc, tous types de sol et tous chevaux confondus, valant 1 642 mètres, est peu fiable. Pourtant, les résultats des distances horaires, variant entre 541 et 4 306 mètres par heure, coïncident avec les valeurs obtenues par Werhahn et al. en 2012, qui s'étaient entre 1,4 et 6,5 kilomètres en 2 heures.

Comparaison des distances parcourues par les chevaux domestiques et sauvages

Ces valeurs de distances horaires moyennes parcourues dans les aires de sortie, et également lors des séances de marcheur et de travail, permettent d'évaluer, pour un certain régime de détention, la distance journalière parcourue par un cheval. Dans les scénarios proposés, les durées des différentes sorties ont été supposées être les durées moyennes enregistrées lors des expériences,

13 Tous chevaux confondus

14 Tous chevaux confondus

15 Tous chevaux confondus

mais il est tout-à-fait envisageable de créer un scénario personnalisé, où la durée de chaque sortie est définie par l'utilisateur. Dans le scénario 11, le cheval vit en box, sort 3 fois dans la journée et parcourt une distance proche des 17 kilomètres, rivalisant avec la distance journalière moyenne de 15,9 kilomètres parcourue par les chevaux sauvages du désert australien (Hampson et al. 2010a). Lorsqu'il s'agit d'un cheval de box qui sort 2 fois ou d'un cheval de stabulation libre qui sort 1 fois, la distance parcourue est supérieure à la distance journalière moyenne de 7,5 kilomètres parcourue par les chevaux domestiques vivant dans des conditions semi-naturelles¹⁶ (Hampson et al. 2010b).

Ces résultats sont toutefois à interpréter avec prudence. En effet, le nombre de kilomètres parcourus n'est pas le seul critère à prendre en compte pour comparer le mouvement des chevaux domestiques et des chevaux sauvages, mais également l'allure et la durée de déplacement des animaux. Lors des séances de marcheur et des séances de travail, la vitesse du cheval est choisie par l'homme et elle est bien plus grande que celle adoptée par les chevaux sauvages ou les chevaux domestiques vivant dans les prés, qui marchent pour se nourrir, lentement et tout au long de la journée. L'état émotionnel du cheval est aussi un facteur important, il n'est pas souhaitable que le stress soit la cause d'une grande distance journalière parcourue.

Répartition du temps entre les différentes activités

Puisque la nourriture est éparse dans des conditions naturelles, les chevaux sauvages se déplacent et mangent toute la journée, ce qui fait que leur temps d'alimentation est extrêmement grand, même s'il est très variable selon les saisons, les jours et l'environnement naturel : de l'ordre de 10 à 16 heures par jour. En ce qui concerne l'hydratation, Boyd et al. en 1988 ont établi que les chevaux Przewalski y passaient 0,5 % du temps, soit environ 7 minutes par jour. Le temps de repos est lui aussi important, même s'il est difficile de le chiffrer car il dépend de la disponibilité des ressources et donc du lieu de vie de la harde. Boyd et al. en 1988 ont mesuré, chez les chevaux Przewalski, un temps de repos de 5 heures environ, et un temps d'inactivité¹⁷ également de 5 heures. À propos du temps de marche, les résultats trouvés dans la littérature sont contradictoires. D'un côté, Berger a observé en 1976 que les chevaux se déplaçaient peu, et de l'autre Hampson et al. en 2010a ont noté que les chevaux devaient marcher durant 12 heures pour un aller simple au point d'eau le plus proche. La méthode utilisée par Berger, qui consistait à observer les chevaux et consigner, toutes les 2 minutes, quelle activité était pratiquée, est probablement moins précise que celle de Hampson et al. en 2010a, qui ont utilisé des GPS. Toutefois, les animaux étudiés se trouvaient aux États-unis dans le premier cas, et en Australie dans le second, avec des conditions de vie très différentes. Boyd et al. en 1988 ont trouvé un résultat intermédiaire chez les chevaux Przewalski, qui se déplacent durant presque 2 heures par jour.

La répartition du temps entre les différentes activités calculées pour les juments des stabulations libres suggère que leur gestion du temps est différente de celle des chevaux sauvages. De fait, le temps passé à s'alimenter est en moyenne inférieur à 3 heures par jour chez les juments des stabulations libres. Cette valeur est surprenante car au total les juments ont accès au foin durant 5 heures par jour dans la première stabulation et durant 8 heures par jour dans la seconde, ainsi qu'un accès permanent au râtelier. Pour ce calcul, la perturbation du signal sous abri a probablement grandement modifié le temps passé dans les zones d'affouragement. De plus, dans la première stabulation les juments étaient souvent sous l'abri à paille où elles scrutaient le sol à la recherche de petites graines à manger, leur temps d'alimentation réel est donc vraisemblablement plus grand que celui qui a été calculé. Ce comportement, non mesurable à l'aide de GPS, permet de mieux satisfaire le besoin de mastication des chevaux, ce qui n'est pas possible avec une litière en sciure, et d'augmenter leur temps d'alimentation. De plus, cela occupe les chevaux, en particulier lorsqu'ils

16 24 heures sur 24 dans des grands prés

17 Rester debout et éveillé

sont détenus en box. L'autre différence fondamentale d'un point de vue nourriture est que les chevaux domestiques mangent sans bouger, alors que les chevaux sauvages marchent continuellement pour trouver de quoi manger.

Une autre différence est le très grand temps de repos dans les stabulations libres. Il faut toutefois mentionner que, la réception du signal étant perturbée sous les abris, il est possible que certaines périodes aient été considérées comme des temps de repos, puisque le GPS n'enregistrait rien, alors que le cheval bougeait sous l'abri (par exemple lorsqu'il scrutait la paille). De même, il a été constaté plusieurs fois lors des expériences qu'un léger mouvement du cheval ne redémarrait pas toujours le GPS, ou pas immédiatement, lorsqu'il était en veille. De plus, le GPS ne fait pas la différence entre le temps de repos et le temps d'inactivité, où le cheval est éveillé sans rien faire. Globalement, les périodes d'immobilité du cheval sont donc un peu plus longues dans des conditions domestiques (10 à 15 heures), que dans des conditions sauvages (10 heures chez le cheval Przewalski).

À propos du temps de déplacement, il est difficile de tirer des conclusions. Les valeurs calculées dans les 2 stabulations libres sont très différentes et passent du simple au double entre la première et la deuxième. Cependant, ces valeurs (respectivement 36 minutes et 37 secondes et 1 heure 22 minutes et 39 secondes dans les stabulations libres 1 et 2) restent petites en comparaison des 24 heures de marche nécessaires tous les 3 ou 4 jours à certains chevaux sauvages du désert australien. La valeur de la stabulation libre 2 se rapproche néanmoins des 2 heures quotidiennes du cheval Przewalski.

Il reste une portion du temps dont l'activité n'a pas été identifiée, variant entre 20 et 40 %, durant laquelle les juments sont probablement dans un état intermédiaire fait de très faible mouvement. Il semble donc que les chevaux domestiques passent plus de 80 % de leur temps dans un état inactif (repos et faibles mouvements).

Interactions sociales

Hélas, les interactions sociales n'ont pas pu être identifiées comme une activité à part entière. À la place, le nombre de contacts rapprochés a été calculé. Il s'avère que les juments de la seconde stabulation libre ont eu plus de contacts que celles de la première. Il ne faut pas oublier que ces contacts ont été comptabilisés seulement dans les zones à l'air libre, qui représentent une plus grande surface dans la seconde stabulation que dans la première, et que la précision du GPS (2,5 mètres) est de l'ordre de la distance seuil des contacts (3 mètres), ce qui affaiblit la fiabilité des résultats. D'autre part, les juments de la première stabulation avaient probablement des contacts rapprochés dans l'abri avec le sol en paille, qui est assez grand pour que presque toutes puissent s'y tenir, mais ils n'ont pas pu être recensés. Lors des expériences, les juments ont souvent été observées dans cet abri.

Les individus qui ont eu le plus et le moins de contacts ont pu être identifiés dans les 2 stabulations libres. Il convient d'être attentif au fait qu'un contact rapproché peut signifier que les chevaux s'apprécient, ou au contraire qu'ils s'attaquent. Le nombre de contacts entre les chevaux doit donc être interprété avec soin. Toutefois, il est vraisemblable de penser que lorsque les chevaux ont assez d'espace ils ne sont pas inéluctablement en train de s'attaquer mais se rapprochent des individus qu'ils apprécient. Les binômes présentant un nombre élevé de contacts sont donc probablement formés par des chevaux qui s'entendent bien.

L'observation simultanée du rang hiérarchique et du diagramme de type réseau permet d'établir des liens intéressants et surprenants. D'abord, il est évident que le lien entre Malenka et Roxena est très fort, malgré que ces 2 juments soient dominantes. Les 2 individus qui sont isolés en premier, Fary et Pina Way, sont en bas de la hiérarchie, ce qui semble indiquer que leur position de dominées les prive de contact : elles se font chasser, ou évitent le contact par peur des attaques.

Cependant, la troisième jument à être exclue du groupe est Gloria, qui est dominante. Ceci peut vouloir dire que cette jument, même si elle est le supérieur hiérarchique de la plupart du groupe, n'est pas particulièrement sociable. Il faut toutefois garder en mémoire que ces résultats découlent d'une valeur seuil fixée à 3 mètres et que les résultats seraient peut-être complètement différents avec une valeur de 2 ou 4 mètres. Les représentations de type réseau effectuées permettent de montrer que les possibilités d'analyse sont nombreuses dans ce domaine. Des recherches plus approfondies, basées sur des mesures de meilleure précision fourniraient des renseignements très intéressants.

Déplacements des chevaux entre les différents éléments des stabulations libres

Ces représentations de type réseau ont aussi permis d'établir les zones les plus visitées par les chevaux au sein des stabulations libres. De façon générale, les réseaux s'organisent autour des points auxquels les juments passent le plus de temps (voir partie 4.3), c'est-à-dire les 2 types de sol et l'abri à paille dans la première stabulation, et la structure alvéolée dans la seconde. Ces observations sont logiques puisque pour se rendre d'un élément d'alimentation à l'abreuvoir, les chevaux sont forcés de passer par une zone à l'air libre. Ceci permet également de confirmer que les juments sont souvent dans le grand abri dans la stabulation libre 1.

Malheureusement, des analyses supplémentaires seraient nécessaires pour mieux connaître les déplacements des chevaux au sein des stabulations libres. Il serait notamment intéressant d'identifier l'enchaînement des places, et pas seulement le déplacement d'un point à un autre.

6 Conclusion

Les résultats obtenus et discutés précédemment permettent de donner quelques pistes pour l'optimisation des infrastructures de détention des équidés en Suisse. D'abord, les stabulations libres apparaissent comme un bon moyen de procurer du mouvement aux chevaux. Il serait donc souhaitable de diminuer l'usage des box au profit des stabulations libres. Même si les distances parcourues peuvent beaucoup varier d'une stabulation libre à l'autre, il a été prouvé que l'agencement des éléments induit de réelles différences de déplacement. Des tests pourraient donc être opérés au début de la mise en place, pour voir quel agencement convient le mieux aux chevaux. La surface disponible par cheval est aussi un facteur d'influence, il faudrait préférer une grande surface par animal. Toutefois, même une détention en stabulation libre ne semble pas suffire. Sortir les chevaux une fois par jour permettrait d'augmenter le temps de déplacement et de réduire le temps de repos, de quoi se rapprocher des conditions semi-naturelles voire naturelles du cheval. Toutefois, ces propos peuvent être nuancés. En effet, en ce qui concerne le mouvement, la distance parcourue par les chevaux n'est pas le seul critère à prendre en compte pour leur bien-être. Le temps de parcours, l'allure et les conditions émotionnelles sont aussi des facteurs importants (un déplacement important induit par le stress n'est pas un témoin de bien-être).

D'autre part, la présence d'une litière en paille dans les stabulations libres semble importante car en plus de constituer un matelas agréable, elle regorge de petites graines et brindilles à dénicher et à manger. Cela occupe les chevaux et cela leur permet de s'approcher du nombre de mastications qui leur est nécessaire et du temps d'alimentation du cheval sauvage. Cette situation ne convient pourtant pas à tous les chevaux puisqu'une trop grande ingestion de paille peut engendrer de sérieux problèmes de santé, il convient donc d'adapter la situation en fonction des chevaux.

Le temps d'alimentation du cheval sauvage, entre 10 et 16 heures par jour, ne peut être approché que par la distribution de fourrages, en petite quantité et à plusieurs moments dans la journée, et non de concentrés hyper-énergétiques. La détention en stabulation libre avec système d'affouragement automatique est un bon moyen d'améliorer l'alimentation des chevaux.

Même si les stabulations libres proposent de meilleures conditions qu'un box du point de vue du mouvement et des interactions sociales, elles présentent également des inconvénients, le principal étant leur coût. La détention en stabulation libre implique une surface disponible par cheval bien plus grande que dans un box, ce qui requiert plus de terrain et coûte donc plus cher. D'autre part, l'hébergement en groupe dans les stabulations libres induit toujours la crainte des blessures, ce qui retient les propriétaires d'y loger leurs chevaux, en particulier de sport, et un accès à la nourriture parfois modifié qui peut conduire à un amaigrissement non désiré.

7 Perspectives

Les résultats présentés dans ce projet suscitent un certain nombre d'idées pour poursuivre les recherches. D'abord, plusieurs choses sont possibles pour améliorer le dispositif de suivi, et d'autre part il est possible d'aller plus loin dans l'analyse du comportement.

Les 2 plus grands problèmes du GPS sont la faible précision et la mauvaise réception du signal sous les abris. Pour ce qui est de la précision, la seule option envisageable est de développer un outil spécialement conçu à cette application, ce qui permettrait d'atteindre une précision de 10 à 20 centimètres et étendrait l'autonomie à plusieurs jours voire une semaine. En ce qui concerne la mauvaise réception sous abri, une optimisation possible serait de coupler le GPS avec d'autres capteurs, par exemple un détecteur qui signale à quels moments les chevaux entrent ou sortent des abris. Le dispositif pourrait également être équipé d'un capteur inertiel qui puisse donner des informations sur l'orientation du cheval dans l'espace.

Concernant l'analyse du comportement, beaucoup d'améliorations et de nouvelles options sont possibles. À propos des sorties des chevaux de box, il faudrait faire beaucoup plus de mesures, pour tenter de noyer l'influence du caractère de chaque cheval, notamment pour les sorties au parc. De plus, une analyse des allures lors des sorties au parc permettrait de mieux connaître le comportement des chevaux, notamment le degré d'excitation en fonction du temps passé dans l'aire de sortie. Pour améliorer l'analyse des activités, il est envisageable de coupler le GPS à un capteur de position, qui indique si le cheval est couché ou non. Des progrès sont également possibles dans l'analyse des déplacements des chevaux de place en place dans les stabulations libres, comme identifier l'enchaînement des lieux visités, et éventuellement lier la position et les horaires, pour tenter dégager des schémas répétés chaque jour. Enfin, des études à plus grande échelle seraient utiles, notamment sur des chevaux domestiques vivant dans des conditions semi-naturelles. En effet, il serait intéressant de comparer des chevaux domestiques dans des structures habituelles et des chevaux domestiques dans des conditions semi-naturelles qui seraient considérés comme référence. La météo, couplée à l'orientation du cheval dans l'espace, et la topographie locale sont également des options d'étude possibles.

8 Références

Allan, B.M., Arnould, J.P.Y., Martin, J.K., Ritchie, E.G., 2013. A cost-effective and informative method of GPS tracking wildlife. *Wildlife Research* 40, 345-348.

Arnold, G.W., 1984. Comparison of the time budgets and circadian patterns of maintenance activities in sheep, cattle and horses grouped together. *Applied Animal Behaviour Science* 13, 19-30.

Bachmann, I., Stauffacher, M., 2002. Housing and exploitation of horses in Switzerland : a representative analysis of the statu quo. *Schweiz Arch Tierheilkd* 144, 331-347.

Bachmann, I., Audige, L., Stauffacher, M., 2003. Risk factors associated with behavioural disorders of crib-biting, weaving and box-walking in Swiss horses. *Equine Veterinary Journal* 35, 158-163.

Bachmann, 2014. Assouplissement des dispositions sur la détention des chevaux en zone agricole. *Autour du cheval* 4, 28-31.

Bell, R.A., Nielsen B.D., Waite, K., Rosenstein, D., Orth, M., 2001. Daily access to pasture turnout prevents loss of mineral in the third metacarpus of Arabian weanlings. *Journal of Animal Science* 79, 1142-1150.

Berger, J., 1976. Organizational systems and dominance in feral horses in the Grand Canyon. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 2, 131-146.

Bourjade, M., Moulinot, M., Henry, S., Richard-Yris, M.A., Hausberger, M., 2008. Could adults be used to improve social skills of young horses, *Equus Caballus* ? *Developmental Psychobiology* 50, 408-417.

Boyd, L.E., Carbonaro, D.A., Houpt, K.A., 1988. The 24-hour-time budget of przewalski horses. *Applied Animal Behavioural Science* 21, 5-17.

Boyd, L., et Keiper, R., 2005. Behavioral ecology of feral horses. In : Mills, D.S., McDonnell, S. (Eds), *The Domestic Horse*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 55-82.

Brami, J., 2013. Les satellites s'invitent dans la prairie. *CnesMag*, 48 – 51.

Brooks, C., Bonyongo C., Harris, S., 2008. Effects of global positioning system collar weight on zebra behavior and location error. *Journal of Wildlife Management* 72, 527-234.

Chaya, L., Cowan, E., McGuire, B., 2006. A note on the relationship between time spent in turnout and behaviour during turnout in horses (*Equus caballus*). *Applied Animal Behavioural Science* 98, 155-160.

Christensen, J.W., Ladewig, J., Sondergaard, E., Malmkvist, J., 2002. Effects of individual versus group stabling on social behaviour in domestic stallions. *Applied Animal Behaviour Science* 75, 233-248.

Cooper J.J., Mason, G.J., 1998. The identification of abnormal behaviour and behavioural problems in stabled horses and their relation-ship to horse welfare : a comparative review. *Equine Veterinary Journal* 27, 4-9.

Curtis, R.A., Evans, D. L., Rathmell, J. G., Rose, R. J., 1997. Use of global positioning system (GPS) in data acquisition for equine exercise physiology. *Proceedings - 19th International Conference, Chicago*.

Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche, Agroscope. Impact économique, social et environnemental du cheval en Suisse, bilan 2013.

Fonseca, R.G., Kenny, D.A., Hill, E.W., Katz, L.M. , 2010. The association of various speed indices to training responses in Thoroughbred flat racehorses measured with a global positioning and heart monitoring system, *Equine Veterinary Journal* 42, 51-57.

- Freymond, S., Briefer, E., Von Niederhäusern, R., Bachmann, I., 2013. Pattern of social interactions after group integration: a possibility to keep stallions in group. *Plos One* 8.
- Ganskopp, D., Cruz, R., Johnson, D.E., 2000. Least-effort pathways ? : a GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Applied Animal Behaviour Science* 68, 179-190.
- Ganskopp, D.C., Bohnert, D.W., 2009. Landscape nutritional patterns and cattle distribution in rangeland pastures. *Applied Animal Behaviour Science* 116, 110-119.
- Goodwin, D., Hughes, C.F., 2005. Equine play behaviour. In : Mills, D.S., McDonnell, S., *The Domestic Horse : The Evolution, Development and Management of its Behaviour*. Cambridge University Press, Cambridge, 150-157.
- Hampson, B.A., De Laat, M.A., Mills, P.C., Pollitt, C.C., 2010a. Distances travelled by feral horses in 'outback' Australia. *Equine Veterinary Journal* 42, 582-586.
- Hampson, B.A., Morton, J.M., Mills, P.C., Trotter, M.G., Lamb, D.W., Pollitt, C.C., 2010b. Monitoring distances travelled by horses using GPS tracking collars. *Australian Veterinary Journal* 88, 176-181.
- Hampson, B.A., De Laat, M.A., Monot, J., Bailliu, D., Pollitt, C.C., 2013. Adaptation of horses to a novel dynamic feeding system : movement and behavioural responses. *Equine Veterinary Journal* 45, 481-484.
- Handcock, R.N., Swain, D.L., Bishop-Hurley, G.J., Patison, K.P., Wark, T., Valencia, P., Corke, P., O'Neill, C.J., 2009. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. *Sensors* 9, 3596-3603.
- Hartmann, E., Sondergaard, E., Keeling, L.J., 2012. Keeping horses in groups : a review. *Applied Animal Behaviour Science* 136, 77-87.
- Heleski, C.R., Shelle, A.C., Nielsen, B.D., Zanella, A.J., 2002. Influence of housing on weanling horse behavior and subsequent welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 78, 291-302.
- Henderson, A.J.Z., 2007. Don't fence me in : managing psychological well being for elite performance horses. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 10, 309-329.
- Holcombe, S.J., Jackson, C., Gerber, V., Jefcoat, A., Berney, C., Eberhardt, S. et al., 2001. Stabling is associated with airway inflammation in young Arabian horses. *Equine Veterinary Journal* 33, 244-249.
- Haupt, K., Haupt, T.R., Johnson, J.L., Erb, H.N., Yeon, S.C., 2001. The effect of exercise deprivation on the behaviour and physiology of straight stall confined pregnant mares. *Animal Welfare* 10, 257-267.
- Irrgang, N., Gerken, M., 2010. An investigation of housing conditions, applied management, handling practises and behaviour in purebred Arabian stallions. *Züchtungskunde* 82, 292-302.
- Jorgensen, G.H.M., Boe, K.E., 2007. A note on the effect of daily exercise and paddock size on the behaviour of domestic horses (*Equus caballus*). *Applied Animal Behavioural Science* 107, 166-173.
- Kaczensky, P., Ganbaatar, O., von Wehrden, H., Walzer, C., 2008. Ressource selection by sympatric wild equids in the Mongolian Gobi. *Journal of Applied Ecology* 45, 1762-1769.
- Kiley-Worthington, M., 1990. The behaviour of horses in relation to management and training – towards ethologically sound environments. *Equine Veterinary Science* 10, 62-71.
- Ladewig, J., Sondergaard, E., Christensen, J.W., 2005. Ontogeny : preparing the young horse for its adult life. In : Mills, D.S., McDonnell, S., *The Domestic Horse : The Evolution, Development and Management of its Behaviour*. Cambridge University Press, Cambridge, 139-149.
- Linklater, W.L., Cameron, E.Z., Stafford, K.J., Veltman, C.J., 2000. Social and spatial structure and range use by Kaimanawa wild horses (*Equus caballus* : Equidae). *New Zealand Journal of Ecology* 24, 139-152.

- Mc Innis, M. L., Vavra, M., 1987. Dietary relationships among feral horses, cattle, and pronghorn in southeastern Oregon. *Journal of Range Management* 40, 60-66.
- Meisser, M., Tarery, M., Chassot, A., Frélichoux, F., 2009. PASTO : gestion de la pâture et comportement des bovins en milieu subalpin fortement embroussaillé. *Revue suisse d'agriculture* 41, 257-262.
- Moen, R., Pastor, J., Cohen, Y., 1996. Interpreting behavior from activity counters in GPS collars on moose. *ALCES* 32, 101-108.
- Putfarken, D., Dengler, J., Lehmann, S., Härdtle, W., 2008. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape : a GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science* 111, 54-67.
- Rivera, E., Benjamin, S., Nielsen, B., Shelle, J., Zanella, A.J., 2002. Behavioral and physiological responses of horses to initial training : the comparison between pastured versus stalled horses. *Applied Animal Behavior Science* 78, 235-252.
- Rose-Meierhöfer, S., Klaer, S., Ammon, C., Brunsch, R., Hoffmann, G., 2010. Activity behaviour of horses housed in different open barn systems. *Journal of Equine Veterinary Science* 30, 624-634.
- Rutter, S.M., Beresford, N.A., Roberts, G., 1997. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. *Computer and Electronics in Agriculture* 17, 177-188.
- Salter, R. E., Hudson, R. J., 1979. Feeding ecology of feral horses in western Alberta. *Journal of Range Management* 32, 221-225.
- Sarrafchi, A., 2012. Equine Stereotypic behaviour as related to horse welfare : a review. Master Thesis, Department of Physics, Chemistry and Biology, Linköping university.
- Sondergaard, E., Ladewing, J., 2004. Group housing exerts a positive effect on the behaviour of young horses during training. *Applied Animal Behaviour Science* 87, 105-118.
- Tomkins, N., Filmer, M., 2007. GPS tracking to boost sustainability. *Farming ahead* 185.
- Trotter, M.G., Lamb, D.W., Hinch, G.N, 2007. GPS livestock tracking : a pasture utilisation monitor for the grazing industry. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Grassland Society of NSW*.
- Turner, L.W., Udal, M.C., Larson B.T., Shearer, S.A., 2000. Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS. *Canadian Journal of Animal Science* 80, 405-413.
- Ungar, E.D., Henkin, Z., Gutman, M., Dolev, A., Genizi, A., Ganskopp, D., 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecology and Management* 58, 256-266.
- Visser, E.K., Ellis, A.D., Van Reenen, C.G., 2008. The effect of two different housing conditions on the welfare of young horses stabled for the first time. *Applied Animal Behaviour Science* 114, 521-533.
- Werhahn, H., Hessel, E.F., Van den Weghe, H.F.A., 2012. Competition horses housed in single stalls (I) : behavior and activity patterns during free exercise according to its configuration. *Journal of Equine Veterinary Science* 32, 45-52.
- Werhahn, H., Hessel, E.F., Van den Weghe, H.F.A., 2012. Competition horses housed in single stalls (II) : effects of free exercise on the behavior in the stable, the behavior during training and the degree of stress. *Journal of Equine Veterinary Science* 32, 22-31.

Annexe 1 – Détails sur le processus de sélection du GPS

Cette annexe présente les détails concernant la sélection du GPS. Elle contient notamment les notes obtenues par les 18 appareils pour chacun des critères établis, ainsi que la mise en évidence des performances de chacun des 4 GPS sélectionnés pour les tests.

A1.1 Première sélection

Les 18 GPS considérés ont été notés selon chacun des critères établis. Le tableau 18 ci-dessous explique la notation appliquée, et le tableau 19 montre les notes obtenues par chaque GPS.

Le modèle *i-got U GT-600* de la marque Mobile Action été sélectionné car il était le plus performant selon les critères établis. Le modèle *WBT-202* de la marque Wintec a aussi été choisi car son score était bon et qu'il était le seul à intégrer le module u-blox 5. La marque Trackstick était intéressante, proposant plusieurs modèles différents avec une grande autonomie. Son modèle *Super Trackstick* a été choisi, présentant un bon score malgré une mémoire relativement faible¹⁸ et un coût un peu élevé. Enfin, le modèle *e-trex 10* de la marque Garmin, qui était déjà à disposition, a été sélectionné seulement pour servir de référence lors de l'évaluation des trajectoires.

Tous les appareils présentant des bons scores (> 40) mais dont l'autonomie était faible n'ont pas été retenus (1 et 4) car ce critère était indispensable. Les appareils dont le score était inférieur à 40 ou dont les données étaient lacunaires n'ont pas été retenus (3, 5, 6, 8, 9, 11, 15, 16, 17 et 18). Enfin, les modèles 12 et 14 n'ont pas été sélectionnés car ils sont de la même marque que le modèle *Super Trackstick*.

	*	**	***
Data logger	Non	-	Oui
Autonomie	< 24 h en continu	24 à 48 h en continu	> 48 h en continu
Mémoire	< 50 000 points	50 000 à 100 000 points	> 100 000 points
Waterproof	Non	-	Oui
Batterie faible	Aucune indication	LED sur appareil	Avertissement (sms ou autre)
Précision	Erreur > 10 m	Erreur entre 3 et 10 m	Erreur < 3 m
Poids	> 150 g	75 à 150 g	< 75 g
Surface	> 40 cm ²	20 à 40 cm ²	< 20 cm ²
Forme « plate »	Épaisseur > 2 cm	Épaisseur 1 à 2 cm	Épaisseur < 1 cm
Coût	> 200 CHF	100 à 200 CHF	< 100 CHF
Attache	Non	-	Oui
Capteur de mouvement	Non	-	Oui

Tableau 18: notation appliquée pour chacun des critères de sélection des GPS

¹⁸ Au départ, il était prévu que l'enregistrement s'opère toutes les 5 ou 10 secondes, la mémoire aurait alors été tout juste suffisante. Par la suite, un intervalle de temps de 2 secondes a été choisi, éliminant d'office ce modèle.

Marque	Mobile Action		GlobalSat			Wintec		Canmore	Cat Track	Garmin	Trackstick				?	Amod	Qstarz	
Modèle	GT 120	GT 600	DG 100	DG 200	BT 335	WBT 201	WBT 202	GT 740 FL	Cat Track 1	e-Trex 10	II	Mini	Super	iTrail	key Pro	key	AGL 3080	BT Q-1000 XT
Numéro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Data logger	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Autonomie	*	**	*	*	**	*	**	*	*	**	**	***	***	***	***	***	*	**
Mémoire	**	***	**	***	**	***	***	***	**	***	*	*	*	***	?	?	***	***
Waterproof	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*	***	***	?	?
Batterie faible	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Sous-total	22	26	22	24	24	24	26	24	22	26	22	24	24	24	24-28	24-28	20	22-26
Poids	***	***	***	***	***	**	***	***	***	**	***	**	***	***	***	***	*	***
Surface	***	***	*	**	**	**	**	**	***	*	**	**	**	***	**	**	*	**
Épaisseur	**	**	**	***	*	**	**	**	**	*	**	***	**	**	*	*	*	**
Précision	***	***	***	***	**	***	***	***	**	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Coût	***	***	***	***	***	**	**	***	***	**	**	*	*	**	**	**	***	**
Attache	***	***	***	***	*	*	*	*	***	*	***	***	***	*	*	*	***	*
Capteur de mouvement	*	***	*	*	*	*	***	*	*	*	*	***	***	***	***	***	*	***
Sous-total	18	20	16	18	13	13	16	15	17	11	16	17	17	17	15	15	12-13	16
TOTAL	40	46	38	42	37	37	42	39	39	37	38	41	41	41	39-43	39-43	32-33	38-42

Tableau 19: notes obtenues par les GPS

* : critère principal mal satisfait

* : information non trouvée mais estimée selon les photos ou les articles de la même marque

? : information non trouvée

A1.2 Comparaison des 4 GPS sélectionnés

Les images qui suivent permettent d'évaluer la performance de chaque GPS. Les trajectoires en blanc désignent celles réellement empruntées par le piéton. Les trajectoires en couleur désignent celles des différents GPS, selon le code couleur décrit sur la figure 58 ci-dessous.



Fig 58: code couleur des trajectoires des différents GPS

A1.2.1 Précision et précision relative

Les figures 59 à 66 ci-dessous montrent 4 lieux propices à l'observation de la précision des appareils. Les appareils les plus précis étaient le *WBT-202* et le *e-trex 10*. Les trajectoires enregistrées aux lieux 3 et 4 montrent toutefois que le *WBT-202* était un peu meilleur que le *e-trex 10*. À cause de la faible fréquence de mesure du modèle *Super Trackstick*, les trajectoires enregistrées apparaissent comme une succession de segments. La précision et la précision relative de cet appareil étaient donc limitées. Le modèle *i-got U GT-600* quant à lui semble peu performant quel que soit le lieu. Les points enregistrés sont décalés de plusieurs mètres de la trajectoire réelle, la précision relative était mauvaise. Ces observations sont synthétisées dans le tableau 20 ci-dessous.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Précision	*	***	*	**
Précision relative	*	***	*	***

Tableau 20: performance des différents GPS concernant la précision et la précision relative

Lieu 1 : trottoirs et passage piéton

Le piéton venait du coin sud-est et se rendait au nord-ouest



Fig 59: trajectoire réelle du piéton au lieu 1

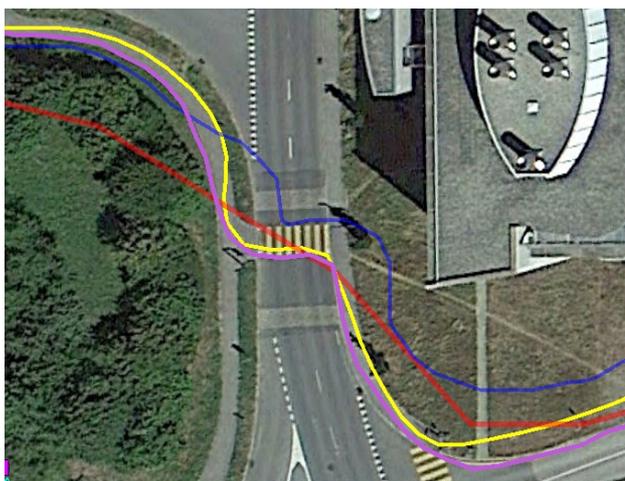


Fig 60: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 1

Lieu 2 : chemin

Le piéton venait du coin sud-est et se rendait au nord-ouest



Fig 61: trajectoire réelle du piéton au lieu 2



Fig 62: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 3

Lieu 3 : pistes d'athlétisme

Le piéton venait de l'ouest et se rendait à l'est



Fig 63: trajectoire réelle du piéton au lieu 3

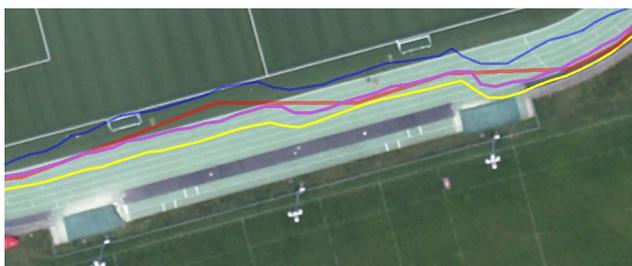


Fig 64: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 3

Lieu 4 : place Cosandey, EPFL
Le piéton venait du nord et se rendait au sud

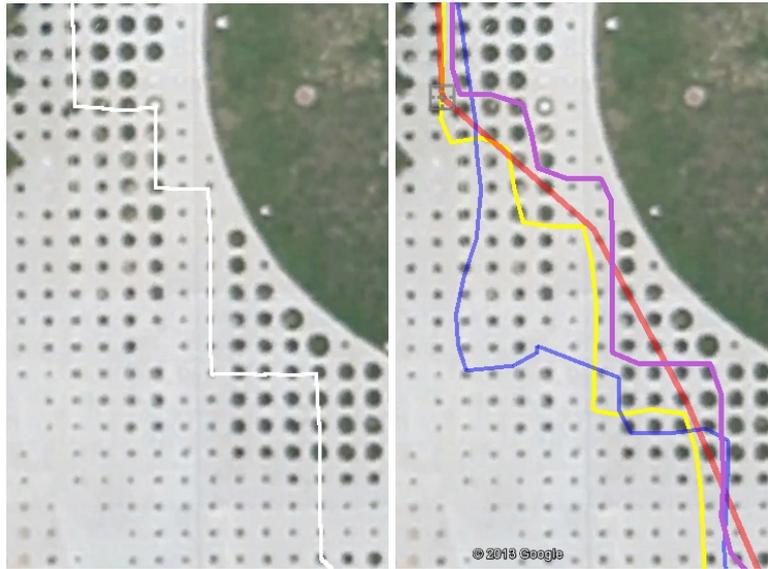


Fig 65: trajectoire réelle du piéton au lieu 4

Fig 66: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 4

A1.2.2 Résistance sous couvert

Les images ci-dessous représentent plusieurs couverts pouvant perturber la bonne réception du signal.

Le lieu 5, représenté sur les figures 67 et 68, était une allée bordée de grands peupliers. Comme les mesures ont été effectuées en hiver, les arbres n'avaient pas de feuilles et la réception du signal était bonne pour tous les appareils.

Le lieu 6, représenté sur les figures 69 et 70, était le bord d'un lac, sous des arbres ayant conservé leurs aiguilles. À cet endroit, la réception du signal pour le modèle *i-got U GT-600* était fortement altérée par le couvert végétal, menant à des points complètement faux. Les modèles *WBT-202* et *e-trex 10* n'étaient pas affectés par le couvert. *Super Trackstick* a enregistré une trajectoire étrange : sans avoir des erreurs aussi grande que *i-got U GT-600*, il n'indique pas avoir été sous les arbres, tout au bord de l'eau. Ceci n'est pas normal puisque le piéton est resté sous les arbres plusieurs minutes.

Enfin, le lieu 7, présenté sur les figures 71 et 72, était un abri bus dont l'armature est constituée de métal et de bois. Là encore, la réception du modèle *i-got U GT-600* était altérée. En revanche, le signal du *e-trex 10* ne semblait pas touché par l'abri. *WBT-202* et *Super Trackstick* ne présentent pas de grosse erreur, mais la trajectoire à la suite de l'abri bus n'est pas correcte.

Ces informations sont synthétisées dans le tableau 21 ci-dessous.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Résistance sous couvert	*	***	**	***

Tableau 21: performance des différents GPS concernant la résistance sous couvert

Lieu 5 : allée de peupliers
Le piéton venait du nord et se rendait au sud



Fig 67: trajectoire réelle du piéton au lieu 5



Fig 68: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 5

Lieu 6: bord d'un lac, sous des arbres
Le piéton venait de l'est, a fait une pause sous les arbres, puis s'est rendu à l'ouest



Fig 69: trajectoire réelle du piéton au lieu 6

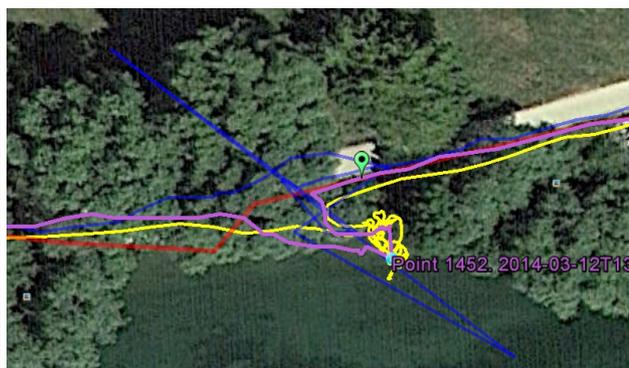


Fig 70: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 6

Lieu 7 : abri bus
Le piéton venait du nord-ouest, a fait une pause sous l'abri puis s'est rendu au sud-est



Fig 71: trajectoire réelle du piéton au lieu 7



Fig 72: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 7

A1.2.3 Récupération du signal après un couvert

L'abri bus du lieu 7 est également utile pour étudier la récupération du signal après un couvert. Le meilleur instrument était l'*e-trex 10* car dès le départ de l'abri bus la trajectoire était correcte, sur le trottoir. Les modèles *WBT-202* et *Super Trackstick* ont recouvré un tracé correct au début du passage piéton, alors qu'il a fallu attendre la moitié du passage piéton pour le modèle *i-got U GT-600*.

Le lieu 8 était constitué de bâtiments, formés principalement de béton et de métal, comme le montrent les figures 73 et 74. Entre les 2 bras du second bâtiment, tous les signaux ont été récupérés mais seul *e-trex 10* était correct. *i-got U GT-600* et *Super Trackstick* montrent un important décalage et *WBT-202* un faible écart. À la fin, c'était à nouveau *e-trex 10* le meilleur. *WBT-202* et *i-got U GT-600* étaient faiblement décalés, *Super Trackstick* l'était fortement.

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau 22 ci-dessous.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Récupération du signal	*	**	**	***

Tableau 22: performances des différents GPS concernant la récupération du signal après un couvert

Lieu 8 : bâtiments

Le piéton venait de l'est et se rendait à l'ouest

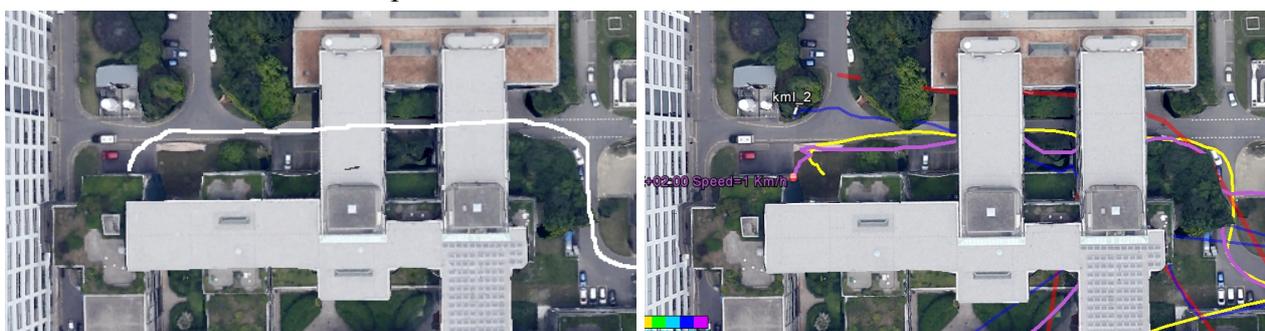


Fig 73: trajectoire réelle du piéton au lieu 8

Fig 74: trajectoires enregistrées par les GPS au lieu 8

A1.2.4 Mesure de distance

Les GPS n'enregistraient pas tous les mêmes informations. Par exemple, certains stockaient la distance parcourue, d'autres la température. Étant donné les objectifs du projet, la mesure de distance était d'un grand intérêt. Parmi les 4 appareils, seuls les modèles *i-got U GT-600* et *WBT-202* proposaient cette mesure. Pour évaluer la qualité de la mesure de distance proposée par ces 2 instruments, les marquages au sol des pistes d'athlétisme du stade ont été exploitées. Le piéton a parcouru exactement 100 mètres grâce à ces marques. Les résultats sont reportés dans le tableau 23 suivant. Ces résultats montrent que le modèle *WBT-202* est meilleur que le modèle *i-got U GT-600*.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Distance mesurée	103.83 m	101 m	indisponible	indisponible
	**	***	*	*

Tableau 23: performances des différents appareils concernant la mesure de distance

A1.2.5 Altimétrie

Des mesures concernant la performance altimétrique des appareils ont été faites. D'abord, la variation d'altitude enregistrée par chaque GPS sur une surface plate a été calculée. Pour une distance parcourue sur les pistes d'athlétisme d'environ 400 mètres, chaque GPS indiquait des

variations d'altitude différentes. Selon Google Earth, l'altitude du stade était de 379 mètres. Le tableau 24 suivant récapitule les valeurs enregistrées par les différents GPS. Les variations d'altitude des modèles *i-got U GT-600* et *Super Trackstick* étaient très importantes. Au contraire, les modèles *WBT-202* et *e-trex 10* présentaient des variations assez faibles. Pour tous, l'altitude indiquée était proche de l'altitude réelle.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Minimum	371.5 m	379 m	376.3 m	382.3 m
Maximum	379.8 m	382 m	386.6 m	385.2 m
Variation	8.3 m	3 m	10.3 m	2.9 m

Tableau 24: altitudes enregistrées par les différents GPS sur la surface plate d'un stade

Ensuite, la sensibilité des GPS à l'altitude a été testée en montant une volée de marches à ciel ouvert. Google Earth indiquait une altitude de 398 mètres au sol, et de 401 mètres en haut des marches. Les mesures enregistrées par les GPS sont présentées dans le tableau 25 suivant. Le tableau 26 mentionne les notes attribuées aux GPS pour leur performance altimétrique.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Altitude au sol	407 m	401 m	372 m	395 m
Altitude en haut des marches	413.5 m	404 m	408 m	400 m

Tableau 25: altitudes enregistrées par les différents GPS au bas et en haut des marches

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Altimétrie	*	***	*	**

Tableau 26: performance altimétrique des différents GPS

A1.2.6 Autonomie

Enfin, l'autonomie des appareils a été testée car leur durée d'enregistrement maximale était d'une importance capitale. Comme les GPS *Super Trackstick* et *e-trex 10* étaient hors de course, seuls les 2 autres modèles ont été testés. Les conditions pour éprouver la batterie de la façon la plus réaliste possible consistaient à faire fonctionner les GPS en continu jusqu'à leur extinction, à l'extérieur et donc exposés à des températures variables, notamment des températures nocturnes assez fraîches. Pour cela, les 2 GPS ont été placés sur des chevaux vivant dans une stabulation libre. Le critère indispensable était une tenue de 24 heures au minimum, dans ces conditions.

Grâce à cette expérience, il a été découvert que le détecteur de mouvement du GPS *WBT-202* était très efficace pour économiser la batterie. En effet, dès que l'appareil était immobile pendant 60 secondes, il s'arrêtait automatiquement et redémarrait dès qu'un mouvement était détecté. Comme les chevaux passent beaucoup de temps à faire la sieste dans ces structures, le GPS n'était pas en marche en permanence, ce qui lui a permis de tenir pendant plus de 48 heures. Même si l'appareil *i-got U GT-600* était lui aussi équipé d'un détecteur de mouvement, son fonctionnement était différent et il n'a tenu que 26 heures.

A1.2.7 Récapitulatif

Le tableau 27 ci-dessous synthétise les caractéristiques principales des 4 GPS testés.

	<i>i-got U GT-600</i>	<i>WBT-202</i>	<i>Super Trackstick</i>	<i>e-trex 10</i>
Autonomie	26 h	> 48 h (sur chevaux)	Non testé	Non testé
Recharge	USB	USB	piles	piles
Mémoire	260 000 points	1 000 000 points	16 000 points	500 000 points
Coût	85 CHF	150 CHF	250 CHF	140 CHF
Poids	37 g	55 g	43 g	142 g
Données enregistrées	Date Heure Latitude Longitude Altitude Vitesse Orientation Distance relative	Date Heure Latitude Longitude Altitude Vitesse Orientation Distance relative Distance absolue	Date Heure Latitude Longitude Altitude Orientation Statut GPS fix Signaux Température	Date Heure Latitude Longitude Altitude

Tableau 27: caractéristiques principales des différents GPS testés

Annexe 2 – Protocole d'expériences complet

A.1 Infrastructures

Toutes les expériences ont été effectuées au haras national d'Avenches, en Suisse, dans le canton de Vaud. Les infrastructures mises à disposition par le haras étaient 2 stabulations libres ainsi que toutes les infrastructures utilisées par les chevaux de sport (box, parcs, marcheurs, manège, carrière, terrain pour les balades).

A.2 Chevaux

Tous les chevaux utilisés lors des expériences sont décrits dans le tableau 28 ci-dessous.

Nom	Sexe	Race	Naissance	Ferrure	Utilisation
Stabulation libre 1					
<i>Chappala</i>	Jument	Demi-sang suisse	1997	Antérieurs	Transfert d'embryon
<i>Dynamic</i>	Jument	Demi-sang suisse	2002	Non	Transfert d'embryon
<i>Fary</i>	Jument	Demi-sang suisse	1999	Non	Transfert d'embryon
<i>Gloria</i>	Jument	Demi-sang suisse	2001	Non	Transfert d'embryon
<i>Hill's Birdy</i>	Jument	Demi-sang suisse	2005	Non	Transfert d'embryon
<i>Lady</i>	Jument	Franche-montagne	2002	Non	Transfert d'embryon
<i>Malenka</i>	Jument	Demi-sang suisse	2002	Non	Transfert d'embryon
<i>Monia</i>	Jument	Franche-montagne	2000	Non	Transfert d'embryon
<i>Petite Rose</i>	Jument	Trotteur	2003	Non	Transfert d'embryon
<i>Pina Way</i>	Jument	Trotteur	2003	Antérieurs	Transfert d'embryon
<i>Romance</i>	Jument	Franche-montagne	2001	Non	Transfert d'embryon
<i>Roxena</i>	Jument	Demi-sang suisse	2000	Non	Transfert d'embryon
Stabulation libre 2					
<i>ET1</i> ¹⁹	Jument	Franche-montagne	?	Non	Transfert d'embryon
<i>ET2</i>	Jument	Franche-montagne	?	Non	Transfert d'embryon
<i>Galanta</i>	Jument	Demi-sang suisse	2010	4 pieds	Sport
<i>Retinella</i>	Jument	Demi-sang suisse	2009	4 pieds	Sport
Box					
<i>Quistar</i>	Etalon	Franche-montagne	1997	4 pieds	Sport
<i>Esperanzo</i>	Etalon	Franche-montagne	2003	4 pieds	Sport
<i>Quesac</i>	Etalon	Franche-montagne	2000	4 pieds	Sport
<i>Historique</i>	Etalon	Franche-montagne	2007	4 pieds	Sport
<i>Weltstern</i>	Hongre	Hannovrien	1999	4 pieds	Sport
<i>Richmann</i>	Hongre	Demi-sang suisse	1998	4 pieds	Sport
<i>Lariboy</i>	Etalon	Franche-montagne	2003	4 pieds	Sport
<i>Newton</i>	Etalon	Franche-montagne	2011	4 pieds	Sport

Tableau 28: descriptif des chevaux utilisés lors des expériences

A.3 Matériel

Le matériel utilisé pour les expériences était le suivant :

- 12 GPS de marque Wintec, modèle WBT-202
- 12 colliers spécialement conçus pour les chevaux
- ficelle
- film plastique alimentaire
- petits sacs pour congélation alimentaire
- scotch carrossier marron
- scotch de bureau transparent

¹⁹ Deux juments de la stabulation libre 2 n'ont pas été identifiées. Comme il s'agissait de juments utilisées pour le transfert d'embryon, elles ont été rebaptisées « ET » pour le projet.

- 1 paire de ciseaux
- élastiques à pions
- 1 ordinateur pour extraire les données
- 10 chargeurs à double port USB

A.4 Élaboration du dispositif et fixation sur les chevaux

Même si le constructeur indiquait que le WBT-02 était résistant à l'eau, une protection supplémentaire lui a été fabriquée, pour lutter à la fois contre la pluie, l'urine et les chocs. Grâce au film plastique replié sur lui-même puis scotché, les arêtes de l'appareil, plus sujettes aux dégâts, ont été protégées. Le GPS a ensuite été emballé dans un petit sac de congélation alimentaire en plastique avant d'être scotché au collier.

Deux ficelles ont été nouées au système d'attache en plastique de chaque collier. Une fois le collier placé autour de l'encolure du cheval, 2 nattes ont permis de lier les ficelles et les crins ensemble, permettant ainsi au GPS de rester sur la nuque du cheval, le plus possible face au ciel.

A.5 Expériences

Série d'expérience 1 : stabulation libre 1

Les juments de la stabulation libre ont été suivies pendant 5 cycles de 48 heures. La fréquence de mesure a été réglée à 2 secondes. Dans le tableau 29 suivant, les cases jaunes indiquent les cycles où le GPS n'a pas tenu les 48 heures d'enregistrement. Les cases grises indiquent que le cycle n'a pas été enregistré²⁰.

Cheval	Cycle 1 7 – 9 avril		Cycle 2 9 – 11 avril		Cycle 3 11 – 13 avril		Cycle 4 14 – 16 avril		Cycle 5 16 – 18 avril	
	GPS	Nombre de points	GPS	Nombre de points	GPS	Nombre de points	GPS	Nombre de points	GPS	Nombre de points
<i>Chappala</i>	2	56 582	9	39 707	5	35 561	4	43 819	4	55 962
<i>Dynamic</i>	3	44 971	5	44 168	9	53 192	1	54 978	1	48 730
<i>Fary</i>	8	15 469	8	30 384	6	22 680	9	41 099	-	-
<i>Gloria</i>	9	33 959	12	23 924	7	47 523	-	-	5	29 094
<i>Hill's birdy</i>	6	44 062	7	39 269	1	55 970	12	54 536	12	44 073
<i>Lady</i>	5	8 414	4	33 252	4	39 574	10	40 886	10	28 375
<i>Malenka</i>	1	55 840	10	39 101	10	52 487	6	36 340	6	40 887
<i>Monia</i>	7	29 949	2	52 351	12	37 208	8	32 190	8	33 164
<i>Petite Rose</i>	10	31 429	1	52 888	8	42 302	3	49 327	3	51 210
<i>Pina Way</i>	11	48 340	3	15 804	-	-	7	47 472	7	19 568
<i>Romance</i>	4	37 590	6	11 825	3	44 951	5	39 181	-	-
<i>Roxena</i>	12	40 145	11	35 916	11	50 705	11	44 671	11	47 213

Tableau 29: suivi des juments de la première stabulation libre

Série d'expérience 2 : stabulation libre 2

Les juments de la stabulation libre ont aussi été suivies pendant 5 cycles de 48 heures chacun. La fréquence de mesure a été réglée à 2 secondes. Le tableau 30 suivant présente le suivi.

Cheval	Cycle 1 19 – 21 avril		Cycle 2 21 – 23 avril		Cycle 3 23 – 25 avril		Cycle 4 25 – 27 avril		Cycle 5 5 – 7 mai	
	GPS	Nombre de points	GPS	Nombre de points						
<i>ET1</i>	8	33 237	7	52 457	8	33 613	7	38 428	-	-
<i>ET2</i>	10	51 325	3	52 386	10	42 927	3	45 773	-	-
<i>Galanta</i>	11	60 925	12	41 389	11	54 867	12	58 457	11	44 696
<i>Retinella</i>	4	43 603	5	49 812	4	53 591	5	50 127	4	30 203

Tableau 30: suivi des juments de la deuxième stabulation libre

²⁰ Le cycle n'a pas été enregistré lorsque le cheval était absent ou que le GPS était en panne.

Série d'expérience 3 : box

Les chevaux de box ont été suivis pendant 7 jours, entre 8h et 17h. La fréquence de mesure a été réglée à 2 secondes. Dans le tableau 31 suivant, les cases sont vides lorsque le cheval est resté au box, que sa sortie n'a pas été enregistrée ou que les GPS a été perdu et les données non récupérées.

Deux des juments de la stabulation libre 2 sont aussi des juments de sport. Lors de leurs cycles d'enregistrement, 4 séances de travail à l'extérieur ont été enregistrées et 4 également à l'intérieur.

Cheval	GPS	Jour 1 12 mai	Jour 2 13 mai	Jour 3 14 mai	Jour 4 15 mai	Jour 5 16 mai	Jour 6 20 mai	Jour 7 21 mai
<i>Esperanzo</i>	7	-	Carrousel	Parc	Carrousel	Carrousel	Parc	Parc
<i>Historique</i>	8	Intérieur	Carrousel + Intérieur	Extérieur	Carrousel	-	Parc	-
<i>Lariboy</i>	1	Carrousel + Extérieur	Intérieur	Parc + Carrousel	Carrousel	-	-	-
<i>Newton</i>	11	Extérieur	-	Parc	Parc	Extérieur	-	-
<i>Quesac</i>	3	Extérieur	Parc	Carrousel	Carrousel	Parc	Parc	-
<i>Quistar</i>	12	-	Parc	Parc	Carrousel	Parc	Parc	-
<i>Richmann</i>	10	Extérieur	Carrousel	Intérieur	Carrousel	Parc	-	-
<i>Weltstern</i>	6	Intérieur	Parc	-	-	-	-	-

Tableau 31: suivi des chevaux hébergés en box

Annexe 3 – Complément des résultats

A3.1 Distances parcourues dans les différents systèmes de détention

Le tableau 32 présente les distances journalières moyennes parcourues par les juments dans les stabulations libres. Les tableaux 33 à 35 présentent les durées, les distances et les distances horaires des sorties au parc, des séances de marcheur et des séances de travail des chevaux de sport.

Stabulation libre 1			
Zone	Tout	Béton	Structure alvéolée
Surface	503.63m ²	195.48m ²	308.15m ²
Distance journalière moyenne			
<i>Chappala</i>	2742m	1167m	1172m
<i>Dynamic</i>	2963m	1152m	1385m
<i>Fary</i>	2696m	1320m	881m
<i>Gloria</i>	2143m	983m	815m
<i>Hill's Birdy</i>	3283m	1556m	1180m
<i>Lady</i>	3058m	1181m	1350m
<i>Malenka</i>	2735m	1078m	1197m
<i>Monia</i>	2506m	988m	1085m
<i>Petite Rose</i>	2969m	1416m	1024m
<i>Pina Way</i>	2146m	724m	1062m
<i>Romance</i>	1920m	742m	881m
<i>Roxena</i>	2158m	844m	918m
Stabulation libre 2			
Zone	Tout	Sable	Structure alvéolée
Surface	696.31m ²	38.97m ²	657.34m ²
Distance journalière moyenne			
<i>ET1</i>	3621m	77m	3385m
<i>ET2</i>	5216m	93m	4905m
<i>Galanta</i>	4810m	154m	4424m
<i>Retinella</i>	6140m	174m	5668m

Tableau 32: distances journalières moyennes parcourues par les juments dans les stabulations libres

Cheval	Type de sol	Durée	Distance	Distance horaire
<i>Esperanzo</i>	<i>Copeaux</i>	2h 23m 56s	1 925 m	803 m
<i>Historique</i>	<i>Copeaux</i>	2h 10m 29s	7 325 m	3 368 m
<i>Newton</i>	<i>Copeaux</i>	2h 15m 01s	2 412 m	1 072 m
		3h 36m 08s	3 500 m	972 m
<i>Quesac</i>	<i>Copeaux</i>	0h 59m 20s	535 m	541 m
		6h 25m 44s	5 462 m	850 m
<i>Quistar</i>	<i>Copeaux</i>	50m 29s	2 203 m	2 619 m
		1h 30m 00s	4 568 m	3 046 m
		1h 34m 38s	4 902 m	3 108 m
		1h 33m 45s	6 727 m	4 306 m
<i>Richmann</i>		2h 50m 34s	1 538 m	541 m
<i>Weltstern</i>	<i>Copeaux</i>	1h 45m 12s	1 700 m	970 m
<i>Esperanzo</i>	<i>Sable</i>	1h 24m 20s	1 017 m	723 m
		24m 20s	576 m	1 420 m
<i>Lariboy</i>	<i>Sable</i>	2h 28m 39s	2 035 m	821 m
<i>Quesac</i>	<i>Sable</i>	4h 08m 54s	4 589 m	1 106 m

Tableau 33: durées, distances et distances horaires des sorties au parc

Cheval	Durée	Distance	Distance horaire
<i>Esperanzo</i>	1h 49m 42s	10 893 m	5 958 m
	1h 46m 44s	10 538 m	5 924 m
	1h 27m 42s	8 871 m	6 069 m
<i>Historique</i>	1h 53m 59s	11 028 m	5 805 m
	1h 21m 52s	7 594 m	5 565 m
<i>Lariboy</i>	20m 58s	1 834 m	5 249 m
	03m 16s	317 m	5 820 m
	1h 38m 50s	9 925 m	6 025 m
<i>Quesac</i>	1h 26m 42s	7 898 m	5 466 m
	1h 14m 56s	7 263 m	5 815 m
<i>Quistar</i>	1h 02m 50s	6 669 m	6 368 m
<i>Richmann</i>	39m 12s	3 942 m	6 034 m
	1h 31m 16s	8 101 m	5 326 m

Tableau 34: durées, distances et distance horaires des séances de marcheur

Séances de travail			
Cheval	Durée	Distance	Distance horaire
<i>Travail à l'extérieur</i>			
<i>Galanta</i>	52m 58s	8 815 m	9 986 m
	47m 54s	7 088 m	8 878 m
<i>Historique</i>	50m 06s	7 336 m	8 786 m
<i>Lariboy</i>	23m 44s	4 350 m	10 997 m
<i>Newton</i>	34m 55s	6 492 m	11 156 m
	38m 45s	4 723 m	7 344 m
<i>Quesac</i>	1h 31m 00s	12 380 m	8 163 m
<i>Retinella</i>	53m 25	8 703 m	9 775 m
	1h 09m 01s	9 707 m	8 439 m
<i>Richmann</i>	35m 17s	4 360 m	7 414 m
<i>Travail à l'intérieur</i>			
<i>Historique</i>	43m 43s	3 872 m	5 315 m
	40m 41s	3 060 m	4 513 m
<i>Lariboy</i>	48m 56s	4 177 m	5 121 m
<i>Retinella</i>	1h 03m 00s	7 188 m	6 846 m
	1h 07m 20s	6 400 m	5 703 m
	1h 08m 32s	6 281 m	5 499 m
	54m 26s	7 602 m	8 379 m
<i>Richmann</i>	53m 02s	4 882 m	5 524 m
<i>Weltstern</i>	47m 12s	2 036 m	2 588 m

Tableau 35: durées, distances et distances horaires des séances de travail

A3.2 Activités pratiquées dans les stabulations libres

Le tableau 36 ci-dessous présente le temps consacré à chaque activité par jour en moyenne, pour chaque cheval. Le tableau 37 présente le nombre de repos de chaque durée, par jour en moyenne, pour chaque cheval.

	Alimentation	Hydratation	Déplacement	Repos total	Repos foin
Stabulation libre 1					
<i>Chappala</i>	2h 54m 04s	6m 13s	40m 01s	11h 04m 15s	1h 31m 44s
<i>Dynamic</i>	3h 20m 48s	9m 02s	39m 19s	10h 15m 59s	59m 37s
<i>Fary</i>	2h 12m 49s	4m 20s	32m 58s	15h 15m 38s	2h 24m 19s
<i>Gloria</i>	2h 44m 47s	4m 17s	32m 47s	14h 26m 37s	1h 45m 50s
<i>Hill's Birdy</i>	2h 51m 51s	4m 14s	45m 59s	10h 41m 23s	50m 31s
<i>Lady</i>	3h 27m 57s	10m 20s	41m 15s	14h 46m 42s	2h 43m 58s
<i>Malenka</i>	1h 20m 44s	1m 26s	43m 34s	11h 21m 17s	45m 48s
<i>Monia</i>	3h 04m 34s	3m 35s	35m 10s	13h 20m 02s	2h 32m 57s
<i>Petite Rose</i>	1h 51m 41s	3m 23s	42m 09s	11h 04m 22s	1h 19m 52s
<i>Pina Way</i>	3h 17m 16s	5m 15s	27m 58s	13h 35m 50s	3h 40m 51s
<i>Romance</i>	2h 35m 56s	16m 50s	28m 26s	14h 19m 41s	1h 25m 00s
<i>Roxena</i>	3h 00m 55s	6m 58s	29m 51s	11h 33m 59s	40m 45s
Stabulation libre 2					
<i>ET1</i>	55m 26s	7m 01s	55m 26s	12h 51m 04s	1h 36m 46s
<i>ET2</i>	2h 19m 35s	3m 35s	1h 20m 23s	10h 14m 04s	0h 55m 07s
<i>Galanta</i>	1h 42m 56s	4m 30s	1h 15m 16s	9h 30m 52s	0h 58m 23s
<i>Retinella</i>	1h 50m 20s	9m 33s	1h 59m 31s	9h 38m 41s	0h 52m 14s

Tableau 36: temps consacré à chaque activité en moyenne par jour, pour chaque cheval

Nombre de repos						
	< 5min	5 à 10 min	10 à 15 min	15 à 30 min	30 à 60 min	> 60 min
Stabulation libre 1						
<i>Chappala</i>	203	14	6.4	3.8	2.4	0.6
<i>Dynamic</i>	190	20	7.4	4.6	0.9	-
<i>Fary</i>	168	16	4.6	4.6	2.9	1.3
<i>Gloria</i>	184	21	8.9	8.1	3.3	0.3
<i>Hill's Birdy</i>	184	21	6.6	6.2	1	-
<i>Lady</i>	243	18	5.5	8.5	3	0.9
<i>Malenka</i>	207	15	3.9	4.7	2	1.1
<i>Monia</i>	198	16	6.4	5.8	3.2	1
<i>Petite Rose</i>	201	17	6.4	6.8	1.7	0.2
<i>Pina Way</i>	178	21	7	3.8	2.2	1.3
<i>Romance</i>	138	13	7.3	7.6	3.4	1.9
<i>Roxena</i>	185	22	8.9	6.8	1.2	-
Stabulation libre 2						
<i>ET1</i>	193	23	8.9	6.4	1.6	0.4
<i>ET2</i>	204	18	5.8	4.6	1.3	-
<i>Galanta</i>	169	15	5.9	3.6	1.9	0.1
<i>Retinella</i>	222	16	6	5.6	0.6	-

Tableau 37: nombre de repos comptabilisés et classés en fonction de leur durée, en moyenne par jour, pour chaque cheval

A3.3 Temps passé dans chaque zone des stabulations libres

Le temps moyen journalier passé dans chaque zone, pour chaque jument, est inscrit dans les tableaux 38 à 43 pour la stabulation 1 et dans les tableaux 44 et 45 pour la stabulation libre 2.

Stabulation libre 1

	Chappala			Dynamic		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	5m 23s	6m 13s	6m 13s	8m 26s	9m 02s	9m 02
Alvéoles	4h 7m 59s	4h 40m 08s	4h 40m 08s	3h 24m 03s	4h 12m 57s	4h 12m 57s
Béton	3h 24m 41s	3h 59m 42s	3h 59m 42s	3h 55m 04s	4h 18m 37s	4h 18m 37s
Foin	48m 32s	2h 03m 23s	3h 50m 57s	58m 05s	2h 37m 27s	3h 48m 56s
Hors stabulation	10h 05m 04s	6h 06m 27s	3h 11m 01s	10h 05m 48s	4h 46m 29s	2h 47m 23s
Paille	4h 42m 52s	6h 16m 56s	7h 24m 49s	4h 46m 54s	7h 13m 47s	8h 01m 24s
Râtelier	39m 18s	40m 58s	40m 58s	40m 28s	40m 28s	40m 28s

Tableau 38: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 1 par Chappala et Dynamic

	Fary			Gloria		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	4m 20s	4m 20s	04m 20s	4m 07s	4m 17s	4m 17s
Alvéoles	3h 11m 00s	3h 33m 04s	3h 33m 04s	3h 00m 00s	3h 23m 49s	3h 25m 49s
Béton	7h 04m 42s	8h 22m 17s	8h 22m 17s	4h 03m 54s	4h 59m 46s	4h 59m 46s
Foin	1h 10m 37s	2h 39m 27s	4h 09m 54s	1h 23m 22s	3h 04m 22s	4h 16m 53s
Hors stabulation	9h 11m 30s	5h 38m 35s	2h 33m 03s	10h 22m 04s	5h 38m 22s	3h 18m 04s
Paille	2h 22m 40s	2h 47m 06s	4h 22m 11s	4h 35m 47s	6h 18m 37s	7h 26m 24s
Râtelier	26m 18s	26m 18s	26m 18s	25m 54s	25m 54s	25m 54s

Tableau 39: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 1 par Fary et Gloria

	Hill's Birdy			Lady		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	3m 24s	4m 14s	4m 14s	9m 17s	10m 20s	10m 20s
Alvéoles	2h 53m 45s	3h 23m 24s	3h 23m 24s	4h 11m 20s	4h 57m 15s	4h 57m 15s
Béton	4h 45m 49s	5h 14m 51s	5h 14m 51s	5h 20m 49s	6h 21m 58s	6h 21m 58s
Foin	53m 48s	2h 23m 42s	3h 15m 05s	2h 12m 16s	4h 02m 47s	6h 15m 47s
Hors stabulation	9h 05m 09s	4h 49m 51s	2h 40m 21s	9h 30m 50s	5h 36m 36s	3h 10m 35s
Paille	5h 40m 57s	7h 26m 52s	8h 45m 59s	1h 26m 22s	1h 41m 48s	1h 54m 49s
Râtelier	36m 19s	36m 19s	36m 19s	46m 18s	46m 29s	46m 29s

Tableau 40: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 1 par Hill's Birdy et Lady

	Malenka			Monia		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	55s	01m 26s	1m 26s	2m 56s	3m 35s	3m 35s
Alvéoles	2h 52m 47s	4h 06m 19s	4h 06m 19s	3h 25m 49s	4h 16m 51s	4h 16m 51s
Béton	3h 35m 46s	4h 41m 54s	4h 41m 54s	4h 46m 08s	5h 22m 43s	5h 22m 43s
Foin	18m 16s	46m 33s	1h 22m 21s	1h 59m 32s	3h 44m 00s	6h 04m 16s
Hors stabulation	9h 01m 23s	5h 04m 48s	2h 41m 46s	10h 48m 39s	6h 48m 49s	3h 47m 56s
Paille	5h 04m 30s	8h 31m 43s	10h 18m 57s	2h 21m 05s	3h 08m 12s	3h 48m 48s
Râtelier	39m 29s	44m 03s	44m 03s	28m 45s	28m 45s	28m 45s

Tableau 41: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 1 par Malenka et Monia

	Petite Rose			Pina Way		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	2m 54s	3m 23s	3m 23s	4m 48s	5m 15s	5m 15s
Alvéoles	3h 40m 14s	4h 30m 30s	4h 30m 30s	5h 13m 51s	5h 53m 37s	5h 53m 37s
Béton	6h 32m 03s	6h 58m 37s	6h 58m 37s	3h 55m 49s	4h 29m 24s	4h 29m 24s
Foin	45m 59s	1h 31m 57s	2h 35m 00s	2h 16m 11s	4h 59m 34s	7h 31m 26s
Hors stabulation	7h 46m 25s	4h 11m 42s	2h 22m 02s	10h 57m 56s	6h 57m 16s	4h 16m 49s
Paille	4h 28m 28s	5h 59m 54s	6h 46m 30s	58m 56s	1h 02m 23s	1h 10m 58s
Râtelier	41m 54s	41m 55s	41m 55s	30m 18s	30m 18s	30m 18s

Tableau 42: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 1 par Petite Rose et Pina Way

	Romance			Roxena		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	7m 46s	16m 50s	16m 50s	6m 43s	6m 58s	6m 58s
Alvéoles	3h 03m 29s	3h 42m 05s	3h 42m 05s	3h 22m 00s	4h 02m 54s	4h 02m 54s
Béton	4h 03m 52s	6h 03m 55s	6h 03m 55s	3h 11m 08s	3h 55m 45s	3h 55m 45s
Foin	1h 04m 14s	2h 22m 16s	3h 50m 37s	29m 24s	1h 56m 26s	2h 51m 47s
Hors stabulation	11h 36m 44s	6h 25m 27s	4h 00m 23s	11h 03m 57s	4h 50m 26s	2h 51m 03s
Paille	3h 14m 37s	4h 20m 08s	5h 16m 50s	4h 57m 33s	8h 18m 09s	9h 22m 11s
Râtelier	34m 05s	34m 05s	34m 05s	46m 04s	46m 13s	46m 13s

Tableau 43: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 1 par Romance et Roxena

Stabulation libre 2

	ET1			ET2		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	6m 55s	7m 01s	7m 01s	3m 26s	3m 35s	3m 35s
Alvéoles	13h 19m 37s	17h 30m 06s	17h 30m 06s	13h 46m 30s	18h 14m 40s	18h 14m 40s
Foin	1h 27m 41s	1h 28m 15s	1h 40m 29s	1h 03m 48s	1h 04m 29s	1h 15m 21s
Grains	58s	1m 28s	1m 54s	10m 17s	12m 50s	22m 25s
Hors stabulation	6h 26m 47s	1h 59m 47s	1h 17m 03s	6h 29m 50s	1h 55m 60s	59m 25s
Râtelier	45m 40s	45m 40s	45m 40s	1h 44m 21s	1h 44m 21s	1h 44m 21s
Sable	44m 48s	44m 48s	44m 48s	23m 28s	23m 28s	23m 28s
Sciure nord	23m 27s	28m 09s	34m 49s	11m 36s	12m 45s	41m 35s
Sciure sud	39m 32s	50m 12s	1h 13m 37s	3m 54s	5m 02s	12m 20s

Tableau 44: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 2 par ET1 et ET2

	Galanta			Retinella		
	Version 1	Version 2	Version 3	Version 1	Version 2	Version 3
Abreuvoir	4m 18s	4m 30s	4m 30s	8m 38s	9m 33s	9m 33s
Alvéoles	11h 05m 54s	15h 23m 21s	15h 23m 21s	10h 06m 45s	15h 10m 43s	15h 10m 43s
Foin	58m 10s	58m 47s	1h 14m 32s	47m 42s	48m 53s	56m 34s
Grains	6m 35s	6m 38s	10m 30s	13m 20s	16m 16s	25m 31s
Hors stabulation	8h 36m 51s	3h 21m 41s	1h 51m 21s	9h 48m 34s	3h 29m 04s	1h 49m 10s
Râtelier	1h 16m 51s	1h 16m 51s	1h 16m 51s	1h 20m 56s	1h 20m 56s	1h 20m 56s
Sable	39m 18s	39m 18s	39m 18s	22m 15s	22m 15s	22m 15s
Sciure nord	19m 24s	26m 53s	49m 22s	13m 49s	22m 28s	45m 45s
Sciure sud	50m 59s	1h 40m 20s	2h 28m 34s	55m 54s	1h 57m 45s	2h 57m 25s

Tableau 45: temps journalier passé dans chaque zone de la stabulation libre 2 par Galanta et Retinella