VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2018 - Thèse n°009

LA SANTE EQUINE CONNECTEE : DEFINITION, TOUR D'HORIZON ET EXEMPLE D'UN DISPOSITIF NON INVASIF DE SURVEILLANCE DU BIEN-ÊTRE DES CHEVAUX AU BOX

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I (Médecine - Pharmacie) et soutenue publiquement le 22 juin 2018 pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

ROUDAUD Marine





VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2018 - Thèse n°009

LA SANTE EQUINE CONNECTEE : DEFINITION, TOUR D'HORIZON ET EXEMPLE D'UN DISPOSITIF NON INVASIF DE SURVEILLANCE DU BIEN-ÊTRE DES CHEVAUX AU BOX

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I (Médecine - Pharmacie) et soutenue publiquement le 22 juin 2018 pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

ROUDAUD Marine





Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (1er mars 2018)

Nom	Prénom	Département	Grade
ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL BECKER	Florence Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON CADORÉ	Thibaut Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER GREZEL	Denis Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Maître de conférences Contractuel
JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
JEANNIN	Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Inspecteur en santé publique vétérinaire (ISPV)
JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Contractuel
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND LEDOUX	Agnès Dorothée	DEPT-AC-LOISIR-SPORT DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur Maître de conférences Stagiaire
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Stagiaire Maître de conférences Stagiaire
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MATEOS	Stevana	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET PROUILLAC	Céline Caroline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Maître de conférences
REMY	Denise	DEPT-BASIC-SCIENCES DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
RIVES	Germain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
THOMAS-CANCIAN	Aurélie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel Professeur
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Fioresseur

Remerciements

A mon jury de thèse,

A Monsieur le Professeur Emmanuel Broussolle,

Professeur à l'Université Claude Bernard de Lyon

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,

Qu'il trouve ici l'expression de mes hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur Jean-luc Cadoré,

Professeur à Vetagro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon

Pour sa générosité et sa patience, pour avoir cru en ce travail et mes projets professionnels,

Qu'il trouve ici l'expression de mon immense gratitude.

A Monsieur le Professeur Luc Mounier,

Professeur à Vetagro Sup, campus Vétérinaire de Lyon

Pour sa gentillesse et pour avoir accepté d'intégrer ce jury de thèse,

Qu'il trouve ici l'expression de mes authentiques remerciements.

Table des matières

Table des matières	7
Table des figures	11
Table des tableaux	13
Table des abréviations	15
Introduction	17
Partie A : Qu'est-ce que la santé animale connectée aujourd'hui en France ?	19
I) Définition et périmètre de la santé connectée	19
a. La e-santé	19
(i) Définition en santé humaine	19
(ii) Définition proposée par l'American Veterinary Medical Association	20
(iii) Définition proposée par l'Académie Vétérinaire de France	20
b. La m-santé	20
(i) Définition en santé humaine	20
(ii) Définition par l'American Veterinary Medical Association	20
(iii) Définition par l'Académie Vétérinaire de France	20
c. La télémédecine	21
(i) Définition en santé humaine	21
(ii) Définition par l'American Veterinary Medical Association	21
(iii) Définition par l'Académie Vétérinaire de France	24
d. Le « quantified self » ou mesure de soi	24
(i) Définition en santé humaine	24
(ii) Définition en médecine vétérinaire	25
II) La réglementation en matière de e-santé	26
a. Communication, ce que permet le nouveau code de déontologie du 15 mars 2015	27
(i) Site internet	27
(ii) Réseaux sociaux	27
(iii) Autres moyens de communication	28
b. Secret médical dans la profession vétérinaire	28
c. Règlementation des objets connectés s'intéressant aux animaux	29
III) L'utilisation des TIC et des objets connectés par les vétérinaires	30
a. Profil des vétérinaires	30
b. Place du numérique dans l'exercice vétérinaire	31
(i) Site internet des structures vétérinaires	31
(ii) Réseaux sociaux	32

(iii) Objets connectés	32
IV) Vision d'ensemble de la santé connectée dans le monde a que l'équine	
a. Solutions existantes pour la gestion des cliniques vétérinai	res33
b. Solutions existantes pour les carnivores domestiques	33
(i) Objets connectés et applications mobiles disponibles po carnivores domestiques	
(ii) Téléexpertise en médecine des carnivores domestiques	35
c. Solutions existantes pour les animaux de production	36
(i) Objets connectés et logiciels de gestion disponible pour de production	
(ii) Téléexpertise en médecine des animaux de production .	38
Partie B : Tour d'horizon de la santé équine connectée aujourd'hui	39
Technologies de l'information et de la communication dans la vétérinaire équin	
a. Apprentissage vétérinaire en ligne et téléexpertise dans le	domaine équin.39
(i) A propos de WizzvetMD	39
(ii) Les formations continues de WizzvetMD	40
(iii) La téléexpertise sur la plateforme Wizzvet	41
 b. Logiciel de gestion spécialisé pour les praticiens vétérinaire 	•
France	
(i) Les fonctions de base	
(ii) Les fonctions spécifiques à la pratique équine	
(iii) Les fonctions de partage des informations	
c. Applications mobiles pour le praticien équin	
a. ECG sur smartphoneb. Echographes connectés	
c. Stéthoscopes électroniques	
d. Systèmes de détection des boiteries	
e. Puces électroniques mesurant la température corporelle	
f. Détection du poulinage	
III) Objets connectés pour le monitorage du cheval	
a. Objets connectés pour le monitorage du cheval au repos	
(i) Bodys et ceintures connectés	
(ii) Couvertures connectées	
(iii) Licols connectés	
(iv) Seaux et abreuvoirs connectés	

(v) Abreuvoirs et distributeurs automatiques de fourrage et de concentre	és85
(vi) Station météo connectée pour écurie par Ekily ^{MD}	86
b. Objets connectés pour le monitorage du cheval au travail	88
(i) Sangles connectées	88
(ii) Selles connectées	99
(iii) Tapis et protections connectés ESTRIDE ^{MD}	102
(iv) Bonnets d'âne connectés HorseCom ^{MD}	107
c. Projets non aboutis ou abandonnés	108
Partie C : Développement d'un outil connecté pour les chevaux : quels axes choisir en fonction de l'état actuel de la e-santé équine en France ?	111
I) Veille concurrentielle : le choix du monitorage du cheval au repos	111
a. Répartition des objets connectés pour chevaux en France	111
(i) Cheval au repos versus cheval au travail	111
(ii) Diversité des données récoltées sur le cheval au repos versus le cheval au travail	112
b. Avantages et inconvénients de la surveillance du cheval au repos et à distance	114
c. Décision stratégique	115
II) Evaluation de l'état de bien-être du cheval à distance : les paramètres d'intérêts	116
a. Définition du bien-être et de la bien-traitance	
b. Protocoles d'évaluation du bien-être	
c. Bon hébergement : les paramètres environnementaux liés à la bien- traitance du cheval	117
(i) Température extérieure et hygrométrie	117
(ii) Qualité de l'air	
(iii) Luminosité	123
(iv) Bruit	123
d. Comportement approprié	124
e. Bonne santé : les signes de douleurs, de blessures et de maladies	129
(i) Les signes de coliques	129
(ii) Les signes de douleur myoarthrosquelettique	132
f. Bonne alimentation	133
g. Synthèse des paramètres d'intérêts retenus pour le dispositif de surveillance des chevaux au box	134
Conclusion :	137
Bibliographie	139

Table des figures

Figure 1: Les six sous-catégories de la télémédecine définies par l'AVMA	22
Figure 2: Les différents domaines recouverts par la e-santé	26
· ·	34
Figure 4: Fonctionnement du Herd NavigatorMD, DeLavalMD	37
Figure 5: Les services proposés par le capteur Ída ND de Connecterra ^{MD}	37
Figure 6: Wizzvet ^{MD} , seule plateforme de téléexpertise et de formations	
vétérinaires en ligne en France	39
Figure 7: Webconférences sur la plateforme Wizzvet	40
Figure 8: La téléexpertise proposées par la platefrome Wizzvet	
Figure 9: Architecture du logiciel VES ^{MD}	
Figure 10: L'application Equine Drugs ^{MD}	48
Figure 11: L'application Equine Joint Injections ^{MD}	48
Figure 12: L'application Equine Radiology ^{MD}	
Figure 14: La coque « Veterinary iPhone ^{MD} ECG »	
Figure 15: Fonctionnement du Veterinary iPhoneMD ECG	
Figure 16: L'échographe portable et connecté Oscul'Vet ^{MD} par Oscadi ^{MD}	
Figure 17: La sonde échographique iQ de Butterfly ^{MD}	55
Figure 18: Les sondes échographiques sans fil Sonon 300MD(A) et ClariusMD (B)	
Figure 19: Le stéthoscope électronique eKuore Vet I ^{MD} à gauche et Vet II ^{MD} à	
droite	59
Figure 20: Présentation de 7 stéthoscopes électroniques	
Figure 21: Le système Equinosis ^{MD} Q with Lameness Locator ^{MD}	64
Figure 22: La micropuce IPTT-300 ^{MD} (gauche) et Bio-Thermo ^{MD} (droite)	66
Figure 23: Sigloo ^{MD} , un détecteur de poulinage avec aimants sur les lèvres	
vulvaires	67
Figure 24: Le système FoalApp ^{MD} (téléphone receveur à gauche et émetteur à	
droite)	68
Figure 25: Application Smart Foal ^{MD}	68
Figure 26: Mise en place du capteur Trackener ^{MD}	71
Figure 27: Application mobile Trackener ^{MD}	71
Figure 28 : Dispositif de mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque par	
Ekily ^{MD}	73
Figure 29: Les abonnements à l'application Ekily ^{MD}	74
Figure 30: Mise en place du boitier enhorse ^{MD}	74
Figure 31: L'application Orscana ^{MD} par Arioneo ^{MD}	75
Figure 32: Application Horsepal ^{MD} de Horseware ^{MD}	76
Figure 33: Body et couverture connectés de Fouganza ^{MD}	77
Figure 34: Position du capteur dans le dispositif proposé par HoofStep ^{MD}	78
Figure 35: Dispositif proposé par HoofStepMD et leur système d'alarme	
Figure 36: Licol connecté NightWatchMD de Protequus LLCMD	
Figure 37: Voyant lumineux du licol NigtWatch permettant de connaître l'état de	
	80
détresse du chevalFigure 38: Application associée au licol NightWatch ^{MD}	81
Figure 39: Prix et abonnement pour le dispositif NightWatch ^{MD}	81
Figure 40: Le système Blue Intelligence ^{MD} de La Buvette ^{MD}	

Figure 41: Application Blue Intelligence ^{MD} sur tablette fournie	83
Figure 42: Exemple d'installation des abreuvoirs équipés du système Blue	
Intelligence ^{MD} de La Buvette ^{MD}	84
Figure 43: Dispositif de surveillance de l'abreuvement proposé par Stablesense ^{MD}	
Figure 44: Mangeoire robotisée Groom-Robot ^{MD}	86
Figure 45: Station météo connectée par Ekily ^{MD}	87
Figure 46: Application Equisense Motion ^{MD}	88
Figure 47: Exemple du suivi du rebond sur plusieurs séances avec l'application	
Equisense Motion ^{MD}	89
Figure 49: Le capteur Equimetre ^{MD} par Arioneo ^{MD}	89
Figure 49: Le capteur Equimetre ^{MD} par Arioneo ^{MD}	90
Figure 50: Design du capteur Exalt Training ^{MD}	92
Figure 51: Application Exalt Training ^{MD}	
Figure 52: Les fonctionnalités de la sangle connectée par Seaver ^{MD}	94
Figure 53: Les différents formats de la sangle connectée proposés par Seaver ^{MD}	95
Figure 54: Dispositif equinITy ^{MD}	95
Figure 55: Application equinITy ^{MD}	96
Figure 56: La solution Waook ^{MD} proposée par Equi-test ^{MD}	
Figure 57: Les 3 offres de cardiofréquencemètres Polar ^{MD} pour chevaux	
Figure 58: Première selle connectée par CWD ^{MD}	
Figure 59: Synchronisation des données avec la vidéo grâce à iJump ^{MD}	101
Figure 60: La sangle connectée de CWD ^{MD} iPulse by Arioneo ^{MD}	102
Figure 61: Positionnement des protections connectées ESTRIDE ^{MD} Tracker	
Figure 62: Protections connectées ESTRIDE ^{MD} Trackers	104
Figure 63: Les offres pour ESTRIDE ^{MD} Trackers	105
Figure 64: Tapis connecté ESTRIDE ^{MD} Harmony	
Figure 65: Offre pour ESTRIDE ^{MD} Harmony	106
Figure 66: Bonnet audio et oreillette HorseCom ^{MD}	107
Figure 67: Offre HorseCom ^{MD}	107
Figure 68: Répartition des objets connectés du cheval en vente et livrables en	
France	112
Figure 69: Principes et critères fondateurs des protocoles du Welfare Quality	117
Figure 70: Définition de la zone de thermoneutralité	119
Figure 71: Tableau de gestion des couvertures pour un cheval tondu par	
Equiswap	
Figure 72: Budget-temps moyen du cheval de Przewalski en parc zoologique	126
Figure 73: Le budget-temps de 4 poneys au box observés pendant le jour	127

Table des tableaux

Tableau I: Préconisations du CNOV concernant la formation continue vétérinaire	.40
Tableau II: Les applications spécifiques à la pratique vétérinaire équine	
développées par Veterinary Advances ^{MD}	.49
Tableau III: Les différents prix disponibles pour le dispositif iPhone Veterinary	
Heart Monitor ^{MD}	.53
Tableau IV: Applications cliniques approuvées par la FDA pour la sonde iQ de	
Butterfly ^{MD}	56
Tableau V: Spécificités des 3 sondes échographiques communiquant avec des	
téléphones intelligents	.57
Tableau VI: 7 stéthoscopes connectés actuellement en vente	.62
Tableau VII: Caractéristiques de 11 dispositifs de détection du poulinage	.69
Tableau VIII: Répartition des objets connectés du cheval	111
Tableau IX: Diversité des fonctionnalités des objets connectés du cheval au	
repos1	113
Tableau X: Fonctionnalités des dispositifs du cheval au travail1	114
Tableau XI: La température critique basse dans la littérature	120
Tableau XII L'échelle composite EQUUS-COMPASS d'évaluation de la douleur	
	131
Tableau XIII: L'échelle d'expressions faciales EQUUS-FAP pour l'évaluation de la	
	132
Tableau XIV: Sensibilité et spécificité des paramètres de l'échelle composite	
d'évaluation de la douleur orthopédique1	133
Tableau XV: Les paramètres d'intérêts mesurés dans un dispositif de surveillance	
des chevaux au box1	135

Table des abréviations

Α

AAEP: American Association of Equine Practitioners ACVS: American College of Veterinary Surgeons

ANR : Agence Nationale de la Recherche ASV : Auxiliaire Spécialisée Vétérinaire AVF : Académie Vétérinaire de France

AVMA: American Veterinary Medical Association

AWIN: Animal Welfare Indicators

В

BLE: Bluetooth Low Energy

BPLC-CIRALE : Unité 957, Biomécanique et Pathologie Locomotrice du Cheval du

CIRALE

C

CES: Consumer Electronics Show

CI: Comfort Index

CIRALE : Centre d'Imagerie et de Recherche sur les Affections Locomotrices

Equines

CMUT : Capacitive Micro-machined Ultrasound Transducer CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CNOV : Conseil de l'Ordre National des Vétérinaires

CR : Cheval au Repos CT : Cheval au Travail

D

DAC : Distributeur Automatique de Concentrés DESV : Diplôme d'Etudes Spécialisées Vétérinaires DMV : Dictionnaire des Médicaments Vétérinaires

DSGP: Directive européenne 2001/95/CE relative à la Sécurité Générale des

Produits

Ε

ECG : électrocardiogramme EDI : Equine Distress Index

e-VFD: e-Veterinary Feed Directive

F

FDA: Food and Drug Administration FEI: Fédération Equestre Internationale

G

GMPC : Groupe Mémoire et Plasticité Comportementale

GOE : Global Observatory for Ehealth GPS : Global Positionning System

Н

HAS : Haute Autorité de Santé

HR: Humidité Relative

I

IC: Index de Confort

IDELE : Institut de l'Elevage

IFCE : Institut Français du Cheval et de l'Equitation

L

LAP : Logiciels d'Aide à la Prescription

M

MPOC: Maladie Pulmonaire Obstructive Chronique

0

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Ρ

ppm: Parties par million

R

RF : fréquences radios (Radio Frequencies) RH : humidité relative (Relative Humidity) RIT : Rochester Institute of Technology

RMSSD : Root Mean Square of the Successive Differences

S

SIS : Systèmes d'Informations de Santé

SMS: Short Message System

T

TIC: Technologies d'Information et de Communication

U

USDA: United States Department of Agriculture UWB-IR: Ultra-Wideband Implusive Radar

٧

VCPR : Veterinarian-Client-Patient Relationship VFC : Variabilité de la Fréquence Cardiaque

Introduction

En 1995 internet comptait 16 millions d'utilisateurs soit environ 0,4% de la population mondiale et en 2014 ce chiffre était de 3 milliards soit 42,4% avec une répartition très hétérogène sur la planète entre les pays développés et en voie de développement (1). L'utilisation de ces technologies a été exponentielle au cours de la dernière vingtaine d'année. Alors qu'initialement diffusé uniquement par des ordinateurs, internet est actuellement disponible via différents supports (tablettes, téléphones intelligents, etc) ce qui a rendu sa démocratisation plus évidente encore.

Ces révolutions numériques ont engendré de nombreux changements dans la société. Par exemple, le commerce en ligne est actuellement prédominant pour ce qui concerne les produits livrables, les réseaux sociaux sont un moyen d'expression et de communication prépondérant, les mails font parties des méthodes de correspondance privilégiés, etc. Le domaine de la santé n'est pas en reste. En effet, la naissance de nouvelles technologies a offert de nouvelles opportunités pour le milieu médical allant de l'informatisation des dossiers patients à la chirurgie assistée par ordinateur en passant par la téléconsultation. De plus, le secteur de la prévention a vu se développer des dispositifs utilisables directement par le patient : date des rappels vaccinaux en ligne, application anti-tabagisme, suivi de l'activité physique, etc. La e-santé est en plein boom avec une multitude d'objets connectés divers et variés disponibles partout en France (montres connectées, applications de santé, etc). Il s'agit d'un sujet d'actualité en médecine humaine comme en témoigne la stratégie nationale « e-santé 2020 » lancée en 2016 par Mme Marisol Tourraine visant à développer la médecine connectée, encourager la co-innovation entre professionnels de santé, citoyens et acteurs économiques puis simplifier les démarches administratives tout en renforçant la sécurité des systèmes d'information en santé (2).

La profession vétérinaire va également subir une révolution suite à l'explosion des nouvelles technologies. Certains changements sont déjà présents et ont modifié l'organisation du métier de vétérinaire comme les logiciels de gestion des cliniques, les radiographies numériques, etc. Cependant, le développement de nouveaux outils connectés pour animaux au service des détenteurs va changer la relation entre le vétérinaire et ses clients ainsi que leurs attentes. C'est un marché en plein essor où de nombreux objets apparaissent et disparaissent chaque jour mais où plusieurs secteurs restent encore à développer. Il suit les traces du marché des objets connectés humains. Des start-up se créent fréquemment afin de proposer des nouvelles technologies aux détenteurs d'animaux. C'est pourquoi il est nécessaire de connaître ces offres, d'en comprendre les intérêts et les limites pour s'adapter et ne pas se laisser dépasser. Sans quoi, les propriétaires pourront se tourner vers d'autres intervenants afin d'utiliser ces dispositifs adéquatement.

Les changements engendrés par ces nouvelles technologies sont au cœur de réflexions en Amérique du Nord comme en Europe et notamment en France. Preuve en est le projet Vetfuturs France lancé par le SNVEL (Syndicat National des Vétérinaires d'Exercice Libéral) et le CNOV (Conseil National de l'Ordre des Vétérinaires). Il s'agit d'une réflexion sur les orientations de la profession à l'horizon 2030. La question de la e-santé animale s'immisce dans ce débat (3). De même, l'université d'été de la e-santé à Castres consacre depuis 3 ans une journée entièrement dédiée à l'apport des nouvelles technologies et du digital dans le monde animal. Le milieu équin n'échappe pas à cette tendance.

L'objectif de cette thèse est d'établir un état des lieux de la santé connectée des chevaux pour en comprendre l'intérêt pour l'animal et son détenteur, ainsi que les opportunités et les conséquences pour le praticien vétérinaire.

Dans un premier temps, la santé connectée animale et ses différents domaines seront définis grâce aux textes existants en médecine humaine et aux recommandations des institutions vétérinaires en France et à l'étranger. Puis un état des lieux actuel de la santé connectée sera dressé dans le milieu équin. Et enfin, l'exemple de l'élaboration d'un dispositif de surveillance des chevaux au box afin de comprendre comment améliorer sa santé et son bien-être sera présenté.

Partie A : Qu'est-ce que la santé animale connectée aujourd'hui en France ?

L'état de santé défini par l'organisation mondiale de la santé (OMS) est multiple : « La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social et pas seulement l'absence de maladie ou d'infirmité »(4). La santé ne s'axe pas uniquement sur l'intégrité physique mais est étroitement liée au bien-être. Or l'organisation mondiale de la santé animale (OIE) définit le bien-être des animaux en se basant sur les cinq libertés fondamentales universellement reconnues :

- Ne pas souffrir de la soif, de la faim ou de malnutrition,
- Ne pas souffrir de la peur et de la détresse,
- Ne pas souffrir d'inconfort physique et thermique,
- Ne pas souffrir de douleur, de blessures et de maladies,
- Etre libre d'exprimer les comportements normaux à son espèce.

Nous allons maintenant voir comment sont définis les différents axes de la santé animale connectée et quelle est leur place aujourd'hui en France.

I) Définition et périmètre de la santé connectée

Avant de pouvoir faire un état des lieux de la santé connectée en France, il faut en comprendre la définition et le périmètre.

Il existe beaucoup de confusions et de mésusages des termes concernant la santé connectée. Il existe un grand nombre de définitions de ces termes, dans cette étude nous allons nous intéresser à celles données par les textes réglementaires français ou par des institutions reconnues comme l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'American Veterinary Medical Association (AVMA) et l'Académie Vétérinaire de France (AVF). Dans ce domaine, la médecine vétérinaire s'inspire des termes et axes préétablis par la médecine humaine.

a. La e-santé

(i) Définition en santé humaine

La e-santé ou télésanté est défini par l'OMS et le Global Observatory for Ehealth (GOE) comme « l'utilisation des technologies d'information et de communication pour la santé. Dans le domaine de la santé, elle est reconnue comme un des aspects grandissant le plus vite »(5). Ce terme aurait été défini par John Mitchell en 1999 à l'occasion du 7ème congrès international de télémédecine (International Society for Telemedicine & eHealth) : c'est « l'usage combiné de l'internet et des technologies de l'information à des fins cliniques, éducationnelles et administratives, à la fois localement et à distance »(6). Dès l'an 2000 la traduction française de ce terme se serait imposée dans l'Hexagone puisque les appels à projet de la direction des hôpitaux au ministère de la Santé pour déployer les Technologies d'Information et de Communication (TIC) s'intitulaient « e-santé ». Il s'agit d'une définition extrêmement large qui regroupe un très grand nombre d'applications puisqu'elle va des systèmes d'informations de santé (SIS) gérant les échanges de données avec les hôpitaux comme le dossier médical partagé, la carte vitale, l'ordonnance dématérialisée ; aux objets connectés ayant un

lien avec la santé comme la mesure de paramètres physiologiques au domicile du patient.

(ii) Définition proposée par l'American Veterinary Medical Association

L'American Veterinary Medical Association (AVMA) a rédigé un rapport sur la télémédecine dans lequel il définit la e-santé comme l'utilisation des technologies dans le but de délivrer une information de santé ou éducationnelle médicale à distance (7).

(iii) Définition proposée par l'Académie Vétérinaire de France

L'académie vétérinaire de France (AVF) ne définit pas spécifiquement le terme de e-santé ou santé numérique dans le domaine vétérinaire mais souligne qu'en médecine humaine ce terme inclus entre autres deux sous-ensembles qui peuvent se recouper : la télémédecine et la télésanté. Dans le domaine vétérinaire, la santé numérique aurait un spectre d'action plus large puisqu'elle concernerait la santé publique, la santé des animaux, leur bien-être, et l'environnement (8).

b. La m-santé

(i) Définition en santé humaine

La « m-Health » signifie « Mobile Health », traduit en français par m-santé est apparue six ans après l'apparition du terme e-Health, soit en 2005 par le Pr Robert Istepanian, universitaire londonien. Son auteur désigne la m-santé comme « l'utilisation des communications mobiles émergentes en santé publique ». C'est ensuite en 2009 que l'OMS la définit comme « les pratiques médicales et de santé publique reposant sur des dispositifs mobiles tels que téléphones portables, systèmes de surveillance des patients, assistants numériques personnels et autres appareils sans fil »(9). On peut noter que cette définition intègre la notion de surveillance et de monitoring des patients.

(ii) Définition par l'American Veterinary Medical Association

L'AVMA définit la « m-health » ou m-santé comme une sous-catégorie de la e-santé utilisant les appareils mobiles. On dénombre notamment les applications et dispositifs portables visant à améliorer les soins de santé, comme l'échographe (SONON 300C^{MD}) ou l'électrocardiogramme (ECG) portable (AliveCor Veterinary ECG^{MD}), et les autres visant directement le consommateur à des fins éducationnelles ou de monitorage de l'animal sans application clinique (7).

(iii) Définition par l'Académie Vétérinaire de France

La santé mobile ou m-santé n'a pas été définie par l'AVF dans son rapport sur la télémédecine vétérinaire.

c. La télémédecine

(i) Définition en santé humaine

En France, la télémédecine humaine est définie dans le code de la santé publique comme « une pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport, entre eux ou avec un patient, un ou plusieurs professionnels de santé, parmi lesquels figurent nécessairement un professionnel médical et, le cas échéant, d'autres professionnels apportant leurs soins au patient »(10). Le cadre réglementaire posé par le décret du 19 octobre 2010 décrit les cinq actes constitutifs de la télémédecine : la téléconsultation, la téléexpertise, la télé assistance médicale, la télésurveillance médicale, la réponse médicale apportée dans le cadre de la régulation médicale. Nous allons détailler ces termes comme décrits dans le décret du 19 octobre 2010 (11) :

- La téléconsultation permet à un professionnel médical d'effectuer une consultation à distance d'un patient. Un professionnel de santé (infirmière, aidesoignante) peut être présent auprès du patient et assister le professionnel médical au cours de la téléconsultation. Ces pratiques sont utiles dans des zones peu densément peuplées ou pour les personnes peu mobiles comme les personnes âgées.
- La téléexpertise permet à un professionnel médical de solliciter à distance l'avis d'un ou plusieurs professionnels médicaux « experts » en raison de leurs formations ou compétences particulières, sur la base des informations médicales liées à la prise en charge d'un patient.
- La télésurveillance médicale permet à un « professionnel médical d'interpréter à distance les données nécessaires au suivi médical d'un patient et, le cas échéant, de prendre des décisions relatives à la prise en charge de ce patient. L'enregistrement et la transmission des données peuvent être automatisées ou réalisées par le patient lui-même ou par un professionnel de santé ».
- La téléassistance médicale permet l'assistance à distance d'un professionnel de santé par un autre au cours de la réalisation d'un acte.
- La réponse médicale apportée dans le cadre de la régulation médicale correspond aux centres de triage téléphonique des urgences et aux éventuels conseils apportés aux patients lors de ces échanges.

(ii) Définition par l'American Veterinary Medical Association

L'AVMA définit la télémédecine comme l'utilisation d'échanges d'information médicale d'un site à un autre via des communications électroniques dans le but d'améliorer l'état de santé du patient. La différence que présente le comité d'experts de l'AVMA vis-à-vis de la télémédecine humaine est que le patient ne peut pas expliquer ses symptômes et son anamnèse et qu'un examen physique en lien avec la réponse de l'animal est souvent nécessaire à la démarche diagnostic. Cependant cet outil peut

être très intéressant dans le suivi des soins qui ne nécessitent pas un examen en personne (7).

Le comité d'expert de l'AVMA a divisé la télémédecine en six sous-catégories en fonction des personnes impliquées et de leur relation vis-à-vis du vétérinaire : vétérinaire-vétérinaire, vétérinaire-équipe, vétérinaire-client habituel, vétérinaire-nouveau client, etc.

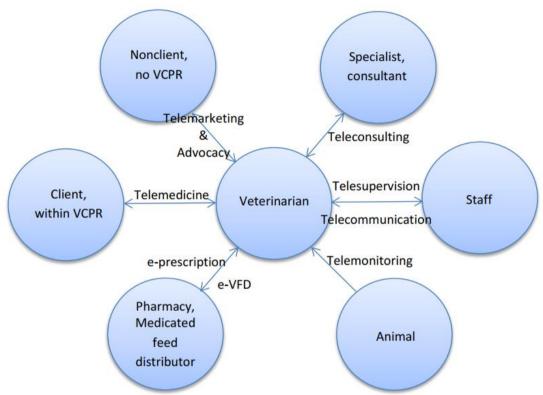


Figure 1: Les six sous-catégories de la télémédecine définies par l'AVMA (7) e-VFD : electronic Veterinary Feed Directive

Explication des termes de la Figure 1 :

- Le terme « telemedicine » correspond à la téléconsultation définie en médecine humaine. Le comité d'experts de l'AVMA la définit comme une consultation à distance qui se déroule entre le vétérinaire et le détenteur dès lors qu'une relation de clientèle (veterinary-client-patient relationship, VCPR) est préexistante. Cette téléconsultation peut être réalisée par vidéo-conférence ou tout autre moyen de communication permettant de fournir les informations nécessaires au diagnostic. Il est important de noter que la relation qui existe entre le vétérinaire, le propriétaire et l'animal ne peut être uniquement établie par contact téléphonique ou tout autre moyen technologique (7). La téléconsultation vétérinaire est autorisée dans plusieurs régions dans le monde, comme par exemple en Ontario au Canada (3) et aux États-Unis (7). L'ordre des vétérinaires de l'Ontario (The college of veterinarians of Ontario) a approuvé cette pratique pour permettre aux propriétaires demeurant dans des régions isolées l'accès à des services vétérinaires (3).
- Le terme « telemonitoring » correspond à la télésurveillance définie en médecine humaine. Ce terme n'est pas plus développé dans le rapport sur la télémédecine vétérinaire par l'AVMA mais correspond à des objets connectés

ou des moyens de communication permettant au vétérinaire d'effectuer le suivi d'un animal à distance. Ce domaine est à différencier des objets connectés visant les détenteurs d'animaux, et non les vétérinaires, qui apportent peu ou pas d'informations cliniques.

- Le terme « teleconsulting » correspond à la téléexpertise définie en médecine humaine. Depuis longtemps les vétérinaires ont fait appel à des spécialistes pour les aider dans la prise en charge de cas complexes. L'AVMA préconise l'utilisation des TIC dans le développement de cette pratique : téléphone, vidéoconférence, messages, transfert de dossiers médicaux, etc. Le comité d'expert de l'AVMA précise que certains états obligent les vétérinaires à faire appel à des spécialistes diplômés dans le même état. Cette obligation leur semble déraisonnable puisque le vétérinaire ayant établi la relation de clientèle avec le détenteur de l'animal est en mesure de choisir un spécialiste capable de correctement le conseiller, qu'il soit ou non diplômé du même état.
- Les termes « advocacy, telemarketing » correspondent aux communications au moyen des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) entre un vétérinaire et une personne avec laquelle une relation de clientèle n'est pas établie. L'AVMA préconise qu'avec ces personnes aucun acte de télémédecine ne soit entrepris. Dans ce cadre, les seules communications électroniques possibles sont celles de la m-santé et d'informations disponibles sur internet, qui ne doivent pas entrer dans le détail d'un animal, d'un diagnostic ou d'un traitement. A titre d'exemple, il existe :
 - Des sites web et applications mobiles qui ont pour but d'éduquer les propriétaires d'animaux vis-à-vis de maladies, de comportements, de blessures, de protocoles de vaccination, de nutrition. Ces explications doivent cependant rester générales et ne pas entrer dans le détail du diagnostic ou du traitement, il s'agit d'expliquer l'importance d'amener un animal chez le vétérinaire.
 - Des plateformes de mise en contact entre les détenteurs d'animaux et les vétérinaires sont reconnues et encouragées par l'AVMA. Celles-ci permettent de trouver les vétérinaires pratiquant dans une région donnée, facilitant ainsi l'accès aux soins.
 - O Il existe des plateformes qui proposent directement aux détenteurs d'animaux des téléconsultations ou des seconds avis en analysant le dossier médical d'un animal, mais celles-ci sont une grande préoccupation pour l'AVMA. En effet, ces consultations ne s'inscrivent pas dans le cadre d'une relation clientèle préétablie et ne consistent pas en une téléexpertise entre deux vétérinaires. La seule exception acceptable, d'après l'AVMA, à effectuer un acte de télémédecine en dehors d'une relation de clientèle préétablie concerne les conseils médicaux donnés lors du triage des urgences mettant en jeu la vie du patient, notamment dans les centres antipoison. Ces conseils peuvent être prodigués par téléphone ou tout autre moyen de communication.
- Les termes « telesupervision, telecommunication » correspondent à l'utilisation des TIC pour la communication interne à la structure vétérinaire. Ces termes ne sont pas plus développés.
- Les termes « e-prescriptions » et « e-VFD » (« e-Veterinary Feed Directive ») correspondent à la prescription dématérialisée de substances et d'aliments médicamenteux.

(iii) Définition par l'Académie Vétérinaire de France

Actuellement en France, la pratique de la téléconsultation est interdite en médecine vétérinaire. Le vétérinaire doit nécessairement effectuer une consultation en présence de l'animal sans quoi il ne peut faire de prescription, à l'exception du suivi sanitaire permanent de l'élevage. De même, sur internet ou tout autre TIC, le vétérinaire ne doit pas entrer dans les détails d'un diagnostic ou d'un traitement mais peut donner des informations ou conseils généraux pour des maladies dans un but éducationnel (12). Cependant dans son rapport sur la télémédecine l'AVF précise que la télémédecine vétérinaire et les notions s'y rattachant devraient être définies par le droit français afin de réguler des pratiques non légales à l'heure actuelle. La télémédecine vétérinaire est définie comme « une forme de pratique vétérinaire à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport, entre eux ou avec l'animal ou le troupeau, un ou plusieurs acteurs, parmi lesquels figure nécessairement un vétérinaire ». Comme en médecine humaine il est préconisé de définir cinq domaines de télémédecine : la téléconsultation, la télé-expertise, la télésurveillance médicale, la téléassistance médicale et la réponse apportée dans le cadre de la régulation médicale. Ces cinq domaines sont identiques à ceux décrits en médecine humaine à la différence qu'ils concernent le vétérinaire. Le terme de télé-conseil vétérinaire personnalisé est ajouté dans le concept de télémédecine vétérinaire, il regroupe les actes pouvant être une forme de téléconsultation, de télésurveillance ou faisant partie intégrante de la régulation médicale mais n'ayant pas pour vocation de donner lieu à un diagnostic. L'AVF a scindé ces termes en deux sous-ensembles selon la personne à l'initiative de l'acte :

- Téléconsultation, régulation et télé-conseil individualisé à l'initiative du propriétaire de l'animal,
- Télé-expertise, télésurveillance et téléassistance à l'initiative du vétérinaire.

L'AVF souligne cependant que la gestion des prescriptions doit être rigoureuse et qu'elles doivent être plus encadrées qu'en médecine humaine en raison de la particularité vétérinaire de la délivrance possible de médicaments par le praticien prescripteur (8).

d. Le « quantified self » ou mesure de soi

(i) Définition en santé humaine

Le « quantified self » est défini par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) comme « la pratique de la mesure de soi et [qui] fait référence à un mouvement né en Californie qui consiste à mieux se connaître en mesurant des données relatives à son corps et à ses activités »(13). Cet aspect s'intéresse plus particulièrement au bien-être, à la prévention et à l'amélioration des performances notamment sportives.

Grâce aux développement de smartphones toujours plus polyvalents et de capteurs toujours plus miniatures, il existe pour l'Homme une multitude d'applications mobiles pour la « mesure de soi ». Par exemple, on trouve des podomètres, des suivis

des calories consommées en fonction des repas, une analyse de la qualité du sommeil, une mesure de la fréquence cardiaque, voire une mesure de la glycémie et de la tension artérielle (13).

(ii) Définition en médecine vétérinaire

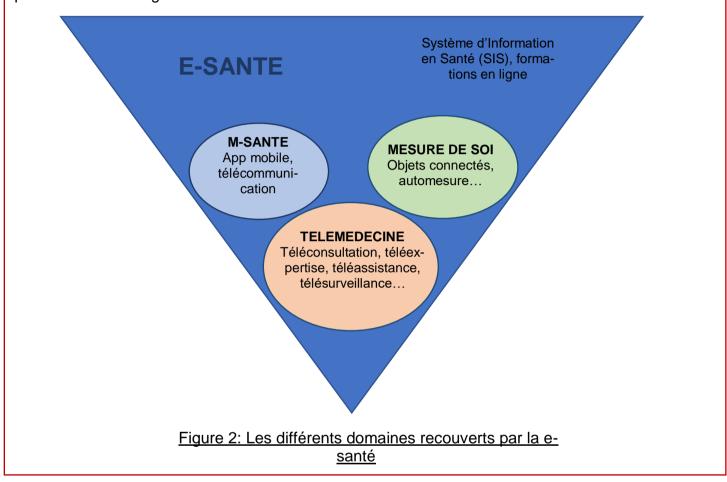
Dans le domaine vétérinaire, ce qui se rapporte au terme « quantified self » n'est pas une « mesure de soi » mais bien de celle d'un animal par son propriétaire. Il existe beaucoup moins d'applications et d'objets connectés pour les animaux, notamment parce qu'il est plus difficile d'imposer un capteur aux animaux. Cependant on retrouve déjà plusieurs solutions comme les gps dans les colliers pour chien et chat, les podomètres, les capteurs de température et d'hygrométrie sous les couvertures pour chevaux, les « sangles connectées » permettant de mesurer la fréquence cardiaque et la trajectoire.

Tous ces systèmes ont pour but d'aider le propriétaire à mieux connaître et mieux comprendre son animal, que ce soit pour améliorer son bien-être, pour prévenir certaines affections, suivre l'évolution d'une maladie, ou améliorer ses performances sportives. Les données récoltées ne sont pas directement envoyées au vétérinaire, il ne s'agit donc pas de télésurveillance, mais elles peuvent être partagées, par exemple sur les réseaux sociaux. On peut se poser la question éthique du partage de données à valeur médicale comme les fréquences cardiaque et respiratoire. En effet la limite est floue entre suivi médical et suivi du bien-être. Certaines données peuvent paraître anodines pour le propriétaire au moment où il les partage mais peuvent receler beaucoup d'informations pour un spécialiste.

De plus, les données scientifiques sont encore faibles vis-à-vis de ces objets connectés, or ils ambitionnent d'impacter directement les comportements et les prises de décisions des utilisateurs. Ils ont le potentiel de bouleverser l'organisation classique de la prévention en santé animale et la dispensation des soins. Les études scientifiques devront juger de la performance des capteurs, de la pertinence des logiciels et des algorithmes associés.

EN BREF

Selon les publications la télésanté ou e-santé est découpée en différents secteurs plus ou moins bien définis. Nous considérerons dans la suite de notre étude que la **e-santé** est le terme le plus général pour désigner l'usage des TIC au service de la santé et qu'il regroupe notamment les trois secteurs suivant : la **m-santé**, la **télémédecine** et la **mesure de soi** ou « quantified self » comme présenté dans la Figure 2.



II) La réglementation en matière de e-santé

La médecine vétérinaire est encadrée par le code rural et de la pêche maritime et par le code de déontologie dicté par le Conseil de l'Ordre National des Vétérinaires. La santé connectée n'est pas directement réglementée mais certaines de ses applications sont soumises à plusieurs textes existants, notamment en ce qui concerne les moyens de communication et le secret médical. Par ailleurs les objets connectés s'intéressant aux animaux ne sont pas aussi bien réglementés que dans le marché humain.

a. Communication, ce que permet le nouveau code de déontologie du 15 mars 2015

Nous allons voir ce qu'autorise le nouveau code de déontologie vétérinaire paru en mars 2015 vis-à-vis de la communication des structures vétérinaires et notamment par l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC).

(i) Site internet

La création d'un site Internet est autorisée mais celui-ci doit obligatoirement être déclaré au conseil régional de l'ordre des vétérinaires (Art. R. 242-72) (14).

L'identification des clients avec un login et un mot de passe pour accéder au contenu du site Internet d'une structure vétérinaire n'est plus obligatoire à l'exception de l'accès aux informations confidentielles concernant les animaux.

Le site peut contenir différentes informations concernant la structure : les tarifs, les horaires, les coordonnées téléphoniques, la localisation, la présentation des membres de l'équipe (vétérinaires et auxiliaires), les compétences particulières des vétérinaires, les services proposés (garde, hospitalisation), la présentation des locaux, des informations visant à éduquer la clientèle. Cependant le contenu de la page doit être loyal, honnête et vérifiable. L'article R. 242-72 du code de déontologie vétérinaire prévoit que « lorsque le site comporte des informations de nature médicale, celles-ci sont datées, et la source des informations publiées est citée. Dans ce cas, l'identité du ou des rédacteurs est précisée. Toute affirmation sur les bienfaits ou les inconvénients de traitements est justifiée » (14).

La vente de produits sur le site internet n'est pas interdite mais elle ne doit pas apparaître comme l'objectif principal faisant penser qu'il s'agit d'un site marchand. « Le vétérinaire ne peut pratiquer sa profession comme un commerce, ni privilégier son propre intérêt par rapport à celui de ses clients, ou des animaux qu'il traite» (Art. R. 242-33-XVIII) (14). De plus, toutes les offres commerciales et les promotions tarifaires des médicaments vétérinaires sont interdites, il n'y a pas de précision concernant les produits alimentaires et les accessoires (Art. R. 242-76-I) (15).

Le code de déontologie précise que « le site Internet ne peut remplacer la relation entre le praticien et son client » (Art. R. 242-72) (14), les consultations en ligne sont notamment interdites.

(ii) Réseaux sociaux

Au même titre que le site Internet, une page sur un réseau social peut être créée mais doit obligatoirement être déclarée au conseil régional de l'ordre des vétérinaires.

Le contenu de la page doit au même titre être loyal, honnête et vérifiable. Les commentaires laissés par des tiers doivent aussi être gérés par le vétérinaire. De même que pour le site Internet, si la page comprend des informations médicales, celles-ci doivent être datées, la source d'information citée et les rédacteurs précisés. Tout jugement de valeur sur un traitement médical doit être justifié (Art. R. 242-72) (14).

Le vétérinaire ou l'auxiliaire spécialisé vétérinaire (ASV) peut répondre à des questions posées dans les commentaires mais il faut être très prudent quant aux limites du secret professionnel puisque les profils ne sont pas anonymes. Il faut aussi prendre garde à ne pas dériver vers les consultations en ligne qui sont à l'heure actuelle interdites en France. En effet le vétérinaire a obligation d'effectuer une consultation en personne avant de faire une prescription à l'animal (Article R. 242-43). Pour rappel, la page sur un réseau social ne peut remplacer la relation entre le praticien et son client (Art. R. 242-72)(14).

Si nous prenons l'exemple du réseau social le plus utilisé en France, Facebook^{MD}, il existe des fonctionnalités permettant de promouvoir sa page, de la sponsoriser et de mettre en avant des publications. L'utilisation de celles-ci est tout à fait autorisée dans la limite où le contenu de la page est loyal, honnête et vérifiable. De même il est possible d'inviter ses clients à « aimer » la page Facebook^{MD} de la clinique, on peut également les inviter à des événements comme une journée porte ouverte ou des conférences.

(iii) Autres moyens de communication

Les affichages et publicités extérieures sont un autre moyen de communication avec le client. Dorénavant, la croix vétérinaire est obligatoire, tout panneau supplémentaire signalant la structure vétérinaire est autorisé (assujettis à la taxe locale sur la publicité extérieure). Cependant, l'exposition d'une vitrine de produits, en rapport direct ou non avec l'exercice de la profession, visible depuis l'extérieur est interdite (Article R. 242-74) (14).

Tous les moyens de communication sont autorisés pour annoncer l'ouverture d'une nouvelle clinique : encart dans un quotidien, annonce à la radio, toujours à condition que le contenu soit loyal, honnête et vérifiable. De plus, ces publications ne nécessitent pas de déclaration à l'Ordre (12).

Il est possible d'offrir des cadeaux aux clients portant le logo de la clinique : stylos, casquettes, tee-shirts tant que le contenu est loyal, honnête et vérifiable. C'est ce qu'on appelle le merchandising. En revanche il est interdit d'instaurer un programme de fidélisation comme une carte de fidélité puisque la profession vétérinaire ne s'exerce pas comme un commerce (Article R. 242-33-XVIII) (12).

b. Secret médical dans la profession vétérinaire

Le secret professionnel fait partie des devoirs généraux du docteur vétérinaire (R.242-33) (16). En outre, toute communication quel que soit le moyen employé doit préserver le secret professionnel auquel les vétérinaires sont soumis (R.242-35) (17). Par exemple l'article R.242-53 du Code rural précise que «l'aménagement des locaux du domicile professionnel d'exercice doit permettre le respect du secret professionnel ». De même, si le matériel informatique et internet peut faciliter la communication et le stockage des informations au sein d'une structure vétérinaire, c'est également des sources de fuites potentielles. L'accès aux données confidentielles doit être maîtrisé. Le partage de renseignements médicaux d'un animal avec une tierce personne ne peut intervenir qu'avec l'accord de son propriétaire. Seule la loi est en mesure de lever le secret professionnel notamment dans le cadre d'une déclaration de morsure à la mairie, d'une évaluation comportementale communiquée à la mairie, ou d'une déclaration d'importation illégale de carnivores domestiques.

c. Règlementation des objets connectés s'intéressant aux animaux

A l'heure actuelle il n'existe pas de dispositions réglementaires spécifiques aux objets connectés s'intéressant aux animaux, qu'il soient utilisés par le propriétaire ou par le vétérinaire dans le cadre d'un diagnostic, de la prévention, du contrôle ou du traitement d'une affection. De manière générale, les dispositifs médicaux utilisés en médecine vétérinaire n'entrent pas dans le cadre de la réglementation appliquée aux dispositifs médicaux puisqu'ils ne sont pas spécifiquement destinés à être utilisés chez l'homme à des fins médicales. Ces dispositifs médicaux comprennent notamment : les orthèses, le matériel d'imagerie, les stimulateurs cardiaques, etc. Ainsi il n'existe pas de définition du « dispositif médical vétérinaire » dans le droit français. Aucune assurance sur la fiabilité et l'innocuité de ces produits n'est définie. Aux Etats-unis et au Canada le dispositif médical est défini comme pouvant être utilisé chez l'homme ou chez l'animal. Une thèse d'exercice de docteur en pharmacie s'est intéressée en 2016 à l'implémentation d'un cadre réglementaire pour ces objets et a conclu qu'ils devraient être intégrés à la définition existante pour les produits utilisés chez l'homme (18).

Les objets connectés sont actuellement soumis à la directive européenne 2001/95/CE relative à la sécurité générale des produits (DSGP). Elle prévoit que tout produit mis sur le marché et destiné aux consommateurs ou susceptible d'être utilisé par les consommateurs dans des conditions d'utilisation normales ou raisonnablement prévisibles, ne présente aucun risque ou seulement des risques réduits et considérés comme acceptables dans le respect d'un niveau élevé de la protection de la santé et de la sécurité des personnes (article 2.B de la DSGP). Cependant les animaux ne peuvent pas être considérés comme des consommateurs, ainsi cette directive ne protège que la santé et la sécurité des hommes. De même, elle ne couvre que les utilisateurs non professionnels, ainsi les vétérinaires ne sont pas couverts par les exigences de cette directive. De plus, les fabricants ont obligation de fournir aux utilisateurs les informations nécessaires pour évaluer les risques inhérents à l'utilisation du produit et prendre des mesures adaptées pour les éviter (19).

Le dernier aspect réglementaire concerne la protection des données à laquelle s'intéresse la loi 78-17 du 6 janvier 1978. D'après celle-ci les données récoltées doivent être traitées de manière « loyale et licite », elles sont « collectées pour des finalités déterminées, explicites et légitimes et ne sont pas traitées ultérieurement de manière incompatible avec ces finalités». Il est donc interdit de collecter des données à l'insu du consommateur et de les utiliser à des fins différentes de celles annoncées. Cependant un traitement ultérieur à des fins de statistique, de recherche scientifique ou historique est considéré compatible avec les finalités. Le nouveau règlement européen sur la protection des données personnelles est entré en application le 25 mai 2018. Il prévoit notamment un concept de respect de la vie privée dès la conception et par défaut (« privacy by design »). Concrètement les fabricants devront minimiser la quantité de données traitées dès le départ, leur durée de conservation et leur accessibilité doit également faire l'objet d'une réflexion initiale. Les acteurs sont responsabilisés, ils doivent mettre en place des mesures de protection des données appropriées et pouvoir les démontrer à tout instant (20). Cependant l'animal ne peut pas être considéré comme le consommateur, ainsi le traitement des données le concernant n'est pas réglementé en l'état actuel des choses. Seules les informations concernant le propriétaire sont soumises à ces exigences.

La règlementation des objets s'intéressant aux animaux, qu'ils soient connectés ou non, est fragmentée et s'intéresse aux conséquences qu'ils peuvent avoir sur l'utilisateur humain au sujet de sa santé, sa sécurité et sa vie privée mais pas aux conséquences sur l'animal.

EN BREF

Il n'y a pas de réglementation de la e-santé animale à proprement parlé. Il est important de rappeler qu'actuellement la téléconsultation vétérinaire est interdite en France. Cependant, le code de déontologie du 15 mars 2015 autorise l'utilisation d'un site internet comme « vitrine » des structures vétérinaires tant que toutes les informations données sont loyales, honnêtes et vérifiables. Il en est de même pour l'utilisation des réseaux sociaux, à ceci près que les commentaires doivent être gérés également. Les vétérinaires peuvent proposer une boutique en ligne bien que la structure ne doit pas être gérée comme un commerce. Concernant les objets connectés à destination des animaux aucune réglementation n'existe spécifiquement. Seules des normes de sécurité vis-à-vis des hommes sont en place. Dans tous les cas le secret médical doit être préservé.

III) L'utilisation des TIC et des objets connectés par les vétérinaires

Le terme TIC (Technologie de l'Information et de la Communication) est utilisé pour désigner « l'ensemble des techniques et des équipements informatiques permettant de communiquer à distance par voie électronique » (21). Cela regroupe notamment le câble, le téléphone, l'Internet, l'audiovisuel et les multimédias. Les objets connectés quant à eux génèrent des informations qu'ils transmettent à d'autres systèmes à distance. Par exemple, une montre connectée récolte des informations concernant un entraînement (vitesse, durée, distance parcourue, dénivelé, fréquence cardiaque, etc) et les envoie sur un serveur pour une exploitation ultérieure par l'utilisateur.

Les utilisateurs de produits connectés en matière de santé animale sont : les propriétaires, les détenteurs, les vétérinaires, les gestionnaires de collectivités (chenil, chatterie, élevage) et les entraîneurs. En 2012, 75% des personnes résidant en France métropolitaine ont utilisé Internet au cours des trois dernier mois, contre 56% en 2007 (22). Les propriétaires d'animaux n'échappent pas à ce mouvement. En effet, de plus en plus de clients ont pour premier réflexe de chercher les coordonnées des professionnels sur les moteurs de recherche, dont Google qui est le plus utilisé en France avec 90% des requêtes qui y sont réalisées (23). Il apparaît donc primordial que les structures vétérinaires soient présentes sur ce canal.

a. Profil des vétérinaires

Les vétérinaires sont des professionnels de santé et dans 63,9% des cas ils ont un exercice libéral (associé, exercice individuel, collaborateur libéral) (24). Ce qui signifie que plus de la moitié des vétérinaires sont également des entrepreneurs. Avec l'apparition des nouvelles technologies et leur démocratisation depuis les années 2000, ces vétérinaires-entrepreneurs peuvent bénéficier de nouveaux outils dans la gestion de leur(s) clinique(s) et dans leur exercice quotidien. De plus, les propriétaires d'animaux

utilisent de plus en plus les nouveaux moyens de communication (site web, réseaux sociaux...), les vétérinaires doivent donc savoir s'adapter à ce nouvel aspect de la profession. Nous allons voir quelle est la place du numérique et des nouvelles technologies chez les vétérinaires et quelles sont leurs principales attentes.

b. Place du numérique dans l'exercice vétérinaire

En octobre 2015, une étude menée par Vetogeek (communauté de vétérinaires qui s'intéressent à l'usage du digital) et La dépêche Vétérinaire sur 433 structures vétérinaires montre que 98% d'entre-elles possèdent au moins un ordinateur, 31% au moins un smartphone et 18% au moins une tablette (23). L'ordinateur est l'outil le plus utilisé mais la tablette et le smartphone font leur apparition. Cette différence est peut-être à moduler avec le type de pratique des professionnels. Une structure canine aura plus de facilité à utiliser un ordinateur quand une structure à dominante rurale ou équine aura plus de facilité à utiliser des surfaces mobiles telles que la tablette ou le smartphone.

En décembre 2014, une autre de leurs études montre que 9 vétérinaires sur 10 déclarent avoir un compte sur au moins un réseau social (Facebook, LinkedIn, Viadeo, Youtube, Twitter, Pinterest). Cependant, l'étude s'est faite à la fois sur des étudiants et des praticiens vétérinaires et l'on voit que si 96% des étudiants ont un compte sur Facebook (principal réseau social utilisé en France), seulement 64% des praticiens en possèdent un. Ces tendances s'inversent quand on s'intéresse aux réseaux sociaux professionnels comme Viadeo ou LinkedIn. Cette différence s'explique notamment par le fait que les étudiants ont peu conscience des bénéfices apportés par ces réseaux professionnels mais qu'ils s'y inscriront probablement lorsqu'ils seront en recherche d'emploi. L'étude a également permis de montrer que les femmes sont six fois plus présentes que les hommes sur les réseaux sociaux et qu'elles y sont plus actives (25).

(i) Site internet des structures vétérinaires

D'après l'étude faite par Vetogeek en octobre 2015, deux tiers des cabinets et cliniques vétérinaires possèdent un site Internet. Les cliniques canines sont plus présentes puisque 74% des structures canines interrogées possèdent un site contre 60% pour les structures mixtes (soignant plusieurs espèces). On peut se demander si cette différence est due à un accès à Internet facilité dans les structures canines ou si elle est due à une différence de typologie de la clientèle (clientèle urbaine versus éleveurs en zone rurale). De plus les structures de plus grande taille semblent plus présentent sur le web. Cela révèle peut-être simplement des moyens humains et financiers plus importants.

Les premiers objectifs du site Internet sont de faire connaître la structure, en donner une bonne image, présenter les infrastructures et les services proposés, communiquer avec les clients et les éduquer, augmenter sa crédibilité et enfin se démarquer. Régulièrement un intervenant extérieur est impliqué dans la création du site. Les centrales d'achat comme Alcyon, Centravet et Hippocampe sont les plus citées. Cependant, dans 73% des cas le site web est mis à jour par un des vétérinaires de l'équipe.

Il faut noter qu'également 13% des structures vétérinaires interrogées ont créé un site marchand dans le but de contrer les ventes de produits vétérinaires sur les sites spécialisés (23). Certains intervenants extérieurs qui réalisent le site Internet proposent également des services de boutique e-commerce comme c'est le cas de

chezmonveto.com créé par Alcyon qui permet de vendre des produits aux clients directement sur le site (26).

(ii) Réseaux sociaux

Les vétérinaires sont présents sur les réseaux sociaux d'abord pour une utilisation personnelle mais depuis peu les structures vétérinaires font également leur apparition sur ces nouveaux moyens de communication. L'étude de Vetogeek en octobre 2015 montre que 32% des structures vétérinaires sont sur un réseau social et 93% sur Facebook. Ce dernier présente l'avantage qu'il est le plus utilisé en France (30 millions d'utilisateurs français en juillet 2015) et que les utilisateurs y vont plusieurs fois par jour. Les objectifs de ces pages Facebook sont principalement de faire connaître la structure, de communiquer avec les clients, de partager des informations (ex : alerte d'émergence de maladie), de fidéliser la clientèle, de se démarquer, de suivre l'actualité vétérinaire, de former les clients et enfin d'augmenter les ventes. Dans 69% des cas la page est gérée par un vétérinaire et dans 24% des cas par les auxiliaires vétérinaires (23).

(iii) Objets connectés

D'après un sondage effectué par Le Point Vétérinaire^{MD} auprès de 53 votants sur leur site internet et diffusé en juin 2017, concernant les objets connectés dédiés à la santé des animaux de compagnie (27) :

- 43% estiment que ce sont des gadgets inutiles,
- 23% y voient un risque de dérives,
- 23% y voient un atout pour la médicalisation des animaux,
- 11% les identifient comme une nouvelle contrainte à étudier même s'ils sont prêts à les utiliser.

Les vétérinaires ne sont donc pas encore tous convaincus par ces objets, n'y voyant pas d'application directe voire une menace ou une contrainte pour leur exercice professionnel. Cependant les vétérinaires devraient les considérer comme une opportunité de participer à un nouveau schéma de gestion de la santé animale. En effet, si eux-même ne maitrisent pas ces nouveaux outils, d'autres intermédiaires le feront très certainement à leur place.

A l'heure actuelle, aucune étude ne s'est intéressée à l'avis des vétérinaires praticiens vis-à-vis des formations continues en ligne et de la téléexpertise.

EN BREF

L'ordinateur est l'outil le plus utilisé par les structures vétérinaires. La tablette et le téléphone intelligent font cependant leur apparition et leur utilisation dépend surtout du type de pratique : en ambulatoire ou en clinique. Selon l'étude de Vetogeek, un tiers des structures vétérinaires sont présentes sur un réseau social et principalement sur Facebook^{MD}. Les trois quart du temps, la page est gérée par un vétérinaire. Concernant les objets connectés, l'avis des vétérinaires est varié et peu étudié. Ils pourraient y voir des gadgets inutiles, des risques de dérives, de nouvelles contraintes à gérer ou plus rarement un atout pour les soins aux animaux.

IV) Vision d'ensemble de la santé connectée dans le monde animal autre que l'équine

Dans cette partie nous développerons rapidement le type de solutions que l'on peut rencontrer pour les structures vétérinaires en clientèle autre que celle de l'équine et les produits à dispositions des détenteurs de ces animaux.

a. Solutions existantes pour la gestion des cliniques vétérinaires

En médecine vétérinaire il existe des logiciels polyvalents qui permettent une gestion facilitée de la clinique. Ils peuvent être spécialisés pour une clientèle (équine, animaux de la ferme, etc) ou généraliste. Seuls ces derniers seront développés dans cette partie. Ils comprennent tous des fonctions « basiques » telles que (28):

- un volet médical (historique, analyses, vaccins, etc),
- la gestion de la clientèle (salle d'attente, rendez-vous),
- le management (agenda, planning de gardes),
- la comptabilité (factures, relances),
- la gestion du stock et des commandes,
- la communication (mails et SMS pour les relances de vaccins, offres promotionnelles sur les gammes alimentation et accessoires).

Certains de ces logiciels de gestion des dossiers médicaux offrent une aide à la prescription par une proposition de posologie en lien avec le dossier du patient et le Dictionnaire des Médicaments Vétérinaires (DMV), on peut notamment citer les logiciels Dr.Veto^{MD} (29) et GmVet^{MD} (30). Ceci permet de faciliter le travail des professionnels de santé mais aussi de garantir un plus haut niveau de prise en charge notamment en terme de sécurité. Cependant les logiciels vétérinaires ne sont pas encore aussi performants que les Logiciels d'Aide à la Prescription (LAP), existants en médecine humaine, qui permettent d'alerter le médecin des contre-indications, des allergies et des interactions médicamenteuses dangereuses en fonction du dossier médical du patient. Ces LAP nécessitent en médecine humaine une certification par la Haute Autorité de Santé (HAS) (31).

b. Solutions existantes pour les carnivores domestiques

(i) Objets connectés et applications mobiles disponibles pour les carnivores domestiques

Les solutions connectés proposées en santé des carnivores domestiques sont très diverses : colliers connectés, gamelles connectées, litières connectées, échographes connectés, ECG connecté, application « santé »... L'animal jusque-là muet pour l'homme aurait la capacité d'être mieux compris et mieux géré par son détenteur grâce à ces technologies. Cependant il est nécessaire de faire la distinction entre gadget numérique et outil présentant un intérêt pour la santé et le bien-être de l'animal.

Prenons l'exemple des dispositifs de suivi de l'activité des carnivores domestiques. Il existe actuellement de nombreux colliers connectés sur le marché : Canhe-Fit de Canhegat^{MD}, Jagger & Lewis^{MD}, PitPat^{MD}, Nuzzle^{MD}, PetPace^{MC}, Tractive Motion de Tractive^{MD}, et Voyce^{MD}. Tous donnent accès à la position géographique et à l'activité journalière de l'animal équipé. Ils sont tous reliés à une application sur smartphone qui permet au détenteur de retrouver ces informations sous différentes formes : graphiques, jauges, dessins... Ces données sont croisées avec les informations concernant l'animal, ajoutées manuellement par le détenteur dans le profil de l'application (âge, race, caractère, etc) afin d'adapter les conseils délivrées. En effet, un jeune animal aura une activité physique plus importante qu'un animal âgé, donc l'analyse indépendante de celle-ci ne permet pas de présumer de son état de santé.

Certains de ces colliers comme PetPace^{MD}, Voyce^{MD} et Jagger & Lewis^{MD} vont plus loin puisqu'ils permettent de récolter des données physiologiques comme : la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la température corporelle, et les sons. L'analyse de ces données par des algorithmes complexes doit permettre de reconnaître des comportements comme la prise de nourriture, l'abreuvement, le sommeil, le repos, la course, l'aboiement et les gémissements. Ces comportements peuvent ensuite être analysés en fonction du statut de l'animal afin de détecter d'éventuelles anomalies : modification de l'activité physique, modification de la prise de boisson et/ou d'alimentation, plaintes, etc.



Figure 3: Les libertés fondamentales monitorées par le collier Jagger & Lewis MD (32)

On peut voir sur la Figure 3 que la start-up lilloise Jagger & Lewis^{MD}, base son monitorage sur les cinq libertés fondamentales reconnues mondialement et décrites dans la définition du bien-être animale par l'OIE (33) :

- Ne pas souffrir de faim et de soif (axes « Faim » et « Soif »),
- Ne pas souffrir de contrainte physique et thermique,
- Etre indemne de douleurs, de blessures et de maladies (axe « Maladie »),
- Avoir la liberté d'exprimer les comportements normaux de son espèce (axes « Activité » et « Sommeil »),
 - Etre protégé de la peur et de la détresse (axe « Stress »).

Ces colliers apportent des informations intéressantes dans le suivi d'un carnivore domestique puisque des anomalies d'activité journalière, d'alimentation, d'abreuvement, de comportement sont détectées précocement. De plus ces données sont quantitatives ou semi-quantitatives ce qui peut être d'un grand intérêt pour le vétérinaire

qui, en temps normal, est confronté à l'appréciation subjective de ces informations par le propriétaire. On peut par exemple imaginer la mise en évidence précoce d'une polydipsie et d'une dysorexie chez un chat qui pourrait faire suspecter une maladie rénale par son vétérinaire. Or la prise en charge médicale précoce permet de limiter le développement de la maladie. On peut aussi penser au suivi de l'activité physique en post-opératoire d'une intervention chirurgicale suite à la rupture du ligament croisé crâniale chez un chien : baisse brutale de l'activité, activité trop intense non adaptée, etc. Ainsi les applications de ces objets connectés sont nombreuses et encore sous-estimées. La gestion des patients pourrait être révolutionnée par leur utilisation.

D'autres solutions connectées sont intéressantes pour les détenteurs d'animaux et les vétérinaires comme par exemple :

- L'application Dolodog^{MD} par le réseau Capdouleur^{MD} qui permet une évaluation et un suivi de la douleur arthrosique ainsi qu'une meilleure observance,
- L'application Pet Diabetes App^{MD} par le Royal Veterinary College de Londres, qui permet un meilleur suivi du diabète (signes cliniques, courbes de glycémie, courbe de poids, cétonurie etc) et une meilleure observance.

On peut également citer des objets connectés où le bénéfice sur la santé de l'animal est plus difficile à estimer :

- Petchatz^{MD} qui permet de voir, entendre et parler à son animal de compagnie. Il est également possible de diffuser des odeurs et de lui distribuer des friandises à distance. Depuis peu, il existe même un bouton avec lequel l'animal peut appeler son maître (alerte envoyée sur le téléphone du propriétaire). Le tout est contrôlé à distance par une application sur smartphone.
- Kittyo^{MD} qui permet de voir son animal de compagnie, d'enregistrer des vidéos, et même de le faire jouer avec un pointer laser toujours sous contrôle d'un smartphone.

Cette liste n'est pas exhaustive mais montre la diversité des produits proposés et l'intérêts que certains peuvent présenter pour le détenteur et le vétérinaire. Un autre intérêt réside dans la notion de big data. En effet, grâce à ces dispositifs nous serons en mesure de récolter des informations inédites et d'élaborer des statistiques basées sur l'ensemble des données collectées en temps réel sur tous les objets connectés en service. Par exemple, les colliers FitBark^{MD} créés aux États-Unis et vendus dans le monde entier estiment avoir montré que les chiots sont 1,8 fois plus actifs que les adultes, et les chiens souffrant d'arthrose sont 30% moins actifs que les chiens sains (34). La véracité et la fiabilité de ces données mériteraient d'être vérifiées par un comité scientifique mais cela nous permet de comprendre l'intérêt du big data dans le domaine de la recherche.

(ii) Téléexpertise en médecine des carnivores domestiques

En utilisant les mots clefs : « téléexpertise vétérinaire » sur le moteur de recherche Google, on ne trouve pas de plateforme de téléexpertise en ligne spécialisée en médecine des carnivores domestiques à l'heure actuelle en France. La plateforme Wizzvet^{MD} commune à toutes les espèces sera développée dans la partie suivante.

c. Solutions existantes pour les animaux de production

(i) Objets connectés et logiciels de gestion disponible pour les animaux de production

Le secteur des animaux de production est en avance sur l'utilisation des nouvelles technologies dans la gestion des élevages vis-à-vis des autres secteurs animaliers. Les problématiques de gestion de productions animales avec un effectif réduit ont motivé l'introduction des nouvelles technologies. Si pour les carnivores domestiques et les chevaux on peut considérer certains objets connectés comme des gadgets qui relèvent plus du divertissement du propriétaire que d'un objet utile, pour les animaux de production il s'agit d'optimiser et de faciliter le travail à l'éleveur. Les gadgets n'intéressent donc pas ce secteur où le lien affectif est moins présent et où la rentabilité prime. Une étude réalisée sur 772 éleveurs par l'Institut de l'Elevage (IDELE) a montré que 67% des interrogés possédaient au moins un objet connecté pour leur troupeau, 88% possédaient un ordinateur fixe et 50% un smartphone. Cette étude a également montré que la principale raison qui pousse les éleveurs à s'équiper en objets connectés est un gain en confort de vie loin devant les raisons économiques (35).

Dans le domaine de l'élevage d'animaux de production on parle « d'élevage de précision », définit par Berckmans en 2006 comme « un concept qui recouvre l'utilisation d'une technologie moderne à base de capteurs, de système de détection (image, sons, etc), de modélisation en temps réel et de logiciels pour réaliser la surveillance et la gestion automatique en continu dans les élevages »(36). L'élevage de précision est utilisé en élevage des bovins laitiers pour le pilotage de l'alimentation, la détection des troubles infectieux et métaboliques et la surveillance des évènements liés à la reproduction. Un des premiers objets connectés, créé en 1970, est le Distributeur Automatique de Concentrés (DAC) permettant de délivrer une quantité d'aliment adaptée individuellement aux animaux laitiers identifiés par collier électronique. Dans les pionniers, le robot de traite commercialisé en 1998, recueille de nombreuses informations sur le lait (taux butyreux, taux protéique, taux de lactodéshydrogénase, taux d'urée, etc) renvoyées sous forme graphique à un ordinateur et permettant des diagnostics précoces d'affections comme les mammites sub-cliniques, par l'éleveur. D'après l'IDELE, en 2013 plus de 2500 éleveurs adhérents au contrôle laitier possédaient un robot de traite (37). On peut citer comme exemple plus récent, le Herd NavigatorND de Delaval FranceND, qui est un boitier analysant le lait des vaches, sans qu'un robot de traite ne soit nécessaire (Figure 4). Pendant la traite des échantillons de lait représentatifs sont prélevés sur des postes de traite spécifiques et envoyés, un par un, à l'analyseur. Les données sont ensuite envoyées sur un ordinateur et le logiciel permet de mettre en évidence les chaleurs par mesure du taux de progestérone, les mammites par mesure du taux de lactodéshydrogénase, et les acétonémies par mesure du taux de betâ-hydroxybutyrate (38). Le but est de détecter précocement les affections afin d'agir au plus vite et gu'ainsi le traitement soit le plus court et le moins coûteux possible.

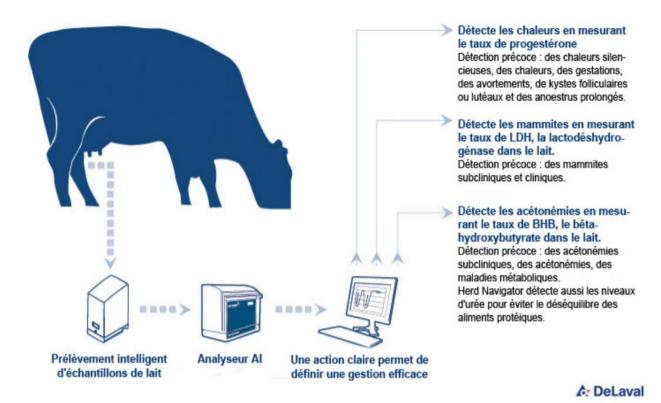


Figure 4: Fonctionnement du Herd Navigator^{MD}, DeLaval^{MD}(38)

Il existe de nombreux autres objets comme les podomètres permettant de détecter les chaleurs, les sangles de détection des mises bas, etc. On peut citer le collier connecté IdaND de Connecterra^{MD} qui permettrait d'après la Figure 5 de détecter les chaleurs à 93% (valeur donnée par l'entreprise), les cétoses, les boiteries, les mammites, les vaches hyperthermes et d'évaluer la rumination. La technique de mesure de cet appareil n'est pas détaillée sur le site commercial, il est seulement mentionné que le capteur permet d'analyser le comportement des vaches équipées (déplacement, couchage, rumination, alimentation, etc) et qu'un algorithme détermine un modèle pour chacune d'elles (39). Si un comportement ne correspond pas au modèle établi, une alerte est déclenchée. On pourrait se demander comment un capteur autour de l'encolure permet de détecter des mammites et si cette détection est précoce.

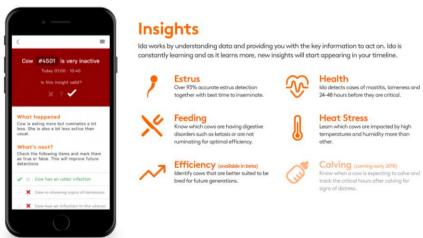


Figure 5: Les services proposés par le capteur IdaND de Connecterra^{MD}(39)

On peut citer d'autres exemples s'intéressant à la santé des animaux de productions :

- Biopic^{MD} qui propose une puce électronique connectée et un Cloud qui permettraient de détecter les chaleurs, les ovulations, les naissances et certains troubles de la santé (40),
- Copeeks^{MD} qui propose un boitier mesurant différents paramètres d'ambiance influant sur le bien-être (température, taux de gaz, bruit) et une caméra pour surveiller à distance les animaux (41),
- SmartroupeauND de Witrace^{MD} qui propose un collier gps permettant de suivre les mouvements des animaux équipés. Un périmètre de sécurité et une zone de danger peuvent être paramétrés et des alertes déclenchées. Une alerte est également émise si l'animal est immobile trop longtemps ou s'il se déplace à une allure trop rapide (42),
- MilkUpND de Vetosoft^{MD} est un logiciel destiné aux vétérinaires permettant d'optimiser les visites d'élevage en analysant les données fournies par l'éleveur (logiciel d'élevage, robot de traite, etc) (43).

Il existe donc de nombreux objets et applications destinés à l'élevage d'animaux de production. Ces objets sont principalement orientés vers la santé et l'amélioration des performances et doivent avoir une finalité économique puisqu'ils s'intéressent à un domaine professionnel. Depuis plusieurs années « l'élevage de précision » est bien une réalité en France, l'IDELE lui a même dédié un site web (44).

(ii) Téléexpertise en médecine des animaux de production

En utilisant les mots clefs : « téléexpertise vétérinaire » sur le moteur de recherche Google, on ne trouve pas de plateforme de téléexpertise en ligne spécialisée en médecine des animaux de production à l'heure actuelle en France. La plateforme Wizzvet^{MD} commune à toutes les espèces sera développée dans la partie suivante.

EN BREF

De manière générale, il existe des **logiciels de gestion spécialisés** pour les structures vétérinaires. Ceux-ci peuvent être plus ou moins spécifiques et s'adaptent ainsi plus ou moins bien aux contraintes de l'entreprise. Les **objets connectés** proposés pour les carnivores domestiques sont très variés et vont du **gadget** qui permet de faire jouer son animal à distance à l'application de suivi de la douleur arthrosique en passant par les colliers de monitorage connectés. Pour le milieu **rural**, les clients sont des **professionnels** ainsi les objets connectés de ce secteur sont moins portés sur l'affect mais plus généralement des **outils** de mesure et d'aide à la détection d'anomalie. En ce qui concerne les carnivores domestiques et les animaux de production, la **téléexpertise** et **l'apprentissage en ligne** sont disponibles sur la plateforme **Wizzvet^{MD}**.

Partie B : Tour d'horizon de la santé équine connectée aujourd'hui

La santé équine connectée regroupe toutes les solutions utilisant les TIC à des fins cliniques, éducationnelles et administratives. Dans cette partie nous allons faire une liste de dispositifs actuellement disponibles pour le vétérinaire et le détenteur de chevaux. Des produits se créent et disparaissent tous les jours et leur découvertes et parfois fortuites. Ainsi, cette liste ne peut être exhaustive mais s'efforce de dresser un tableau représentatif du marché actuel. Les recherches ont été menées jusqu'en février 2018.

I) Technologies de l'information et de la communication dans la pratique du vétérinaire équin

a. Apprentissage vétérinaire en ligne et téléexpertise dans le domaine équin (45)

Bien qu'il existe dans certaines structures vétérinaires un service d'expertise à distance comme la lecture radiographique par des spécialistes au centre d'imagerie et de recherche sur les affections locomotrices équines (CIRALE), il n'y a à l'heure actuelle en France qu'une seule plateforme en ligne de téléexpertise : Wizzvet^{MD}. Le site est accessible sur ordinateur, tablette et téléphone intelligent.

(i) A propos de WizzvetMD

Wizzvet^{MD} est une plateforme créée par le Dr Dorine Olejnik en juin 2013, qui met en relation des vétérinaires généralistes avec des vétérinaires spécialistes pour toutes les espèces. Le site web propose à la fois une expertise à distance en 24h sur des cas cliniques, des formations en ligne en direct ou en différé et une banque de 250 cas cliniques complexes résolus et consultables (Figure 6).



<u>Figure 6: Wizzvet^{MD}, seule plateforme de téléexpertise et de formations vétérinaires en ligne en France (45)</u>

(ii) Les formations continues de WizzvetMD



Figure 7: Webconférences sur la plateforme Wizzvet (45)

Les formations sous forme de webconférences de Wizzvet^{MD} recouvrent 50 disciplines vétérinaires grâce à 90 référents diplômés des collèges européens, américains, diplôme d'études spécialisées vétérinaires (DESV) ou à des anciens résidents. Les conférences peuvent intéresser un seul groupe d'espèces (carnivores domestiques, nouveaux animaux de compagnie, ruminants ou équins) ou un domaine transversal affectant plusieurs espèces (ophtalmologie, oncologie, dermatologie, reproduction, etc). Concernant les équidés on retrouve actuellement 31 formations consultables, 10 webconférences en direct programmées sur 6 mois et au moins 5 vétérinaires référents spécialisés en médecine équine.

Ces formations sont reconnues par le conseil de l'ordre national des vétérinaires (CNOV) et le comité de la formation continue vétérinaire (CFCV) et permettent d'obtenir des points de formation continue sous forme de crédits de formation continue (CFC) exprimés en « European Credit Transfer System » (ECTS). Un ECTS équivaut à 20 heures d'activités de formation : lecture de revues ou d'ouvrages, rédaction d'articles ou d'ouvrages, présentation de conférences, actes de formation, toute formation en présentiel ou par e-learning donnant lieu à la délivrance d'une attestation de suivi de formation. En décembre 2015, le CNOV a donné des préconisations concernant la formation continue vétérinaire suite aux recommandations du CFCV. Il est à noter que la préconisation d'acquérir des ECTS ne commence qu'à partir du 31 janvier de la troisième année suivant l'année de la première inscription au Tableau de l'Ordre pour les nouveaux diplômés.

<u>Tableau I: Préconisations du CNOV concernant la formation continue vétérinaire</u>
(46)

	Vétérinaire exercant dans un cabinet vétérinaire /me- dico-chirurgical ou clinique vétérinaire	Vétérinaire exerçant dans un centre de vétérinaires spécialistes ou un centre hospitalier
Obligations de for- mations continue en heures et équivalent en ECTS	Minimum 100 heures ou 5 ECTS en 5 ans Soit en moyenne 20 heures ou 1 ECTS par an	10 ECTS en 5 ans

A l'heure actuelle, Wizzvet^{MD} est la seule plateforme proposant exclusivement des formations en ligne reconnues par le CNOV. La formation continue étant une obligation de tout vétérinaire, cet aspect est particulièrement intéressant car il facilite l'accès aux formations (Figure 7) :

- pas de déplacement à prévoir ce qui limite les frais et le temps passé dans les transports,
- pas de nécessité de bloquer une plage horaire pour la formation, certaines pouvant être différées.

Le service de formation continue est associé à un service de téléexpertise.

Fait par des vétos, pour des vétos

Vous n'êtes plus seul derrière votre stéthoscope

Jai un problème

Je pose ma question sur MIZZVET

Un référent vous répond

Le problème est résolu

90 cas complexes consultables

90 disciplines vétérinaires

250 cas complexes consultables

Figure 8: La téléexpertise proposées par la platefrome Wizzvet (45)

Afin d'obtenir de l'aide de la part d'un spécialiste (diplômé du collège américain ou européen ou ayant obtenu un DESV), l'utilisateur vétérinaire choisit la discipline concernée et devra payer des frais soit pour chaque question posée soit en souscrivant à un abonnement. La téléexpertise est permise par un outil de rédaction de cas clinique où l'on peut renseigner les informations nécessaires à la compréhension du cas, poser une question et envoyer des documents (analyses, radiographies, photos, etc). Le cas sera alors affiché sur Wizzvet^{MD} et transmis aux spécialistes de la dite discipline, l'acceptation des prestations par un ou plusieurs conseillers référents doit être effective pour que la mise en relation soit possible. Un référent spécialiste répondra à la requête en 24h dans 80% des demandes (Figure 8). Si le requérant estime que la prise en charge de la requête dans une discipline est tardive, il pourra la retirer sans que cela ne lui soit facturé. Après réponse d'un conseiller référant, il sera demandé au requérant de donner un avis sur l'utilité de la réponse. Cet avis est personnel, anonyme et donné par un système de points. Il est également précisé que les réponses des conseillers doivent être utilisées comme étant des informations d'aide aux diagnostics et non un diagnostic. En ce qui concerne le secret médical, il est précisé dans les conditions

générales d'utilisation que « les commentaires et les solutions apportées aux cas cliniques seront publiés sans possibilité d'identifier l'animal ». De plus, les questions et les réponses ne sont pas confidentielles entre les membres de la plateforme et peuvent être retrouvées sur des moteurs de recherche associées au nom de l'utilisateur. Il est cependant possible de masquer son identité lors d'une demande d'expertise, dans ce cas le nom de Wizzvet^{MD} s'y substituera. En cas de litige, Wizzvet se dédouane de toute responsabilité concernant des « dommages matériels et immatériels, consécutifs ou non, subis par des utilisateurs ou causés à des tiers résultant d'une erreur de diagnostic ou de conseil ».

Un autre service proposé est l'accès à un catalogue de 250 cas cliniques complexes, comprenant : anamnèse, examen clinique, examens complémentaires, traitements, réponses de plusieurs référents, évolution du cas après les différents échanges.

Les étudiants vétérinaires peuvent s'inscrire mais n'accéder qu'aux fonctionnalités non-payantes du site sauf s'ils souscrivent à un abonnement leur donnant accès à l'intégralité du contenu : cas cliniques, webconférences, etc. Cependant ils ne pourront pas utiliser le service d'échanges d'avis médicaux entre vétérinaires diplômés.

On peut également mentionner le site VétoFocus^{MD} qui permet de partager des cas cliniques avec d'autres praticiens et étudiants vétérinaires afin d'échanger sur les difficultés rencontrées. Cependant il ne s'agit pas de téléexpertise comme avec Wizzvet^{MD} puisque les échanges ne se font pas avec des spécialistes. De même, le site présente des fiches résumées concernant des gestes techniques mais ne propose pas de formations en ligne reconnues par le CNOV.

b. Logiciel de gestion spécialisé pour les praticiens vétérinaires équins en France

La démocratisation des ordinateurs et des logiciels notamment dans les structures vétérinaires a permis le développement des logiciels de gestion spécialisés. Ils se sont au cours des années adaptés aux différentes contraintes de ce métier et ont évolué avec l'apparition de nouvelles technologies. A l'heure actuelle il existe des logiciels adaptés à la plupart des pratiques : selon l'espèce soignée et selon le type de structure. En effet, une clientèle canine se déplaçant à la clinique ne sera pas gérée de la même manière qu'une clientèle équine qui accueille le vétérinaire dans ses infrastructures. Aujourd'hui en France, nous avons pu dénombrer 3 logiciels qui sont spécialement développés pour les vétérinaires équins : Veterinary Equin Software^{MD} (VES), My Equine^{MD} de My vet apps^{MD}, et la solution vétérinaire de O-haras^{MD}. Ces 3 solutions ont été mise en évidence par l'utilisation des mots clefs « logiciel », « vétérinaire » et « équin » sur le moteur de recherche Google^{MD}.

(i) Les fonctions de base

Les deux logiciels VES^{MD} et My Equine^{MD} comportent des fonctions de base communes avec d'autres spécialités vétérinaires voire de nombreux métiers. Par exemple, on retrouve :

- La gestion des fiches patients,
- La gestion des fiches clients,
- La gestion des produits et des stocks,
- La gestion de la facturation,
- Un module de vente directe.
- La gestion des règlements,
- La gestion des dépenses,
- Un module statistique.
- La gestion des commandes.

Ces fonctionnalités pourraient servir à la gestion de n'importe quel type d'entreprise (à l'exception des fiches patient), elles ne sont pas spécifiques de la profession. Avant la démocratisation des ordinateurs, ces actes étaient directement réalisés à la main par le vétérinaire ou ses assistants. Le logiciel My Equine^{MD} propose également un module de gestion de la salle d'attente et des hospitalisations. Ce service est moins essentiel à la pratique équine où la majorité des consultations se déroulent sur le lieu de vie de l'animal.

Aujourd'hui, ces solutions apportent : un gain de temps avec notamment la gestion automatisée des stocks et des factures ; une optimisation du travail avec l'analyse des statistiques de l'entreprise permettant de mettre en évidence les points forts et les points faibles de la structure.

(ii) Les fonctions spécifiques à la pratique équine

Certaines fonctions sont propres à la clientèle équine du fait de ses particularités. Notamment, un cheval peut avoir plusieurs propriétaires au cours de sa vie ou à un instant donné, et le détenteur n'est pas toujours le propriétaire. Ainsi les logiciels VES^{MD} et My Equine^{MD} proposent la gestion de la multipropriété pour la facturation et la gestion des détenteurs. VES^{MD} propose en plus un module de visite d'achat spécifique aux chevaux tandis que My Equine^{MD} dispose d'un service de « visites en passant » pour les demandes des propriétaires qui souhaitent une consultation de convenance en économisant les frais de déplacements (« quand [le vétérinaire] sera dans le coin »). La solution vétérinaire O-haras^{MD} est spécialisée dans le suivi de la reproduction et propose plusieurs modules spécifiques : suivi gynécologique, gestion des contrats de monte, fonctionnalités sanitaires et registre de l'élevage.

Le logiciel My Equine^{MD} fait partie de My Vet Apps^{MD} qui propose également 2 autres solutions dédiées respectivement aux besoins des vétérinaires canins et ruraux. Dans le cadre d'une pratique mixte il est alors possible d'utiliser plusieurs de leurs solutions sur un même ordinateur et de synchroniser les informations concernant les différentes espèces sur un unique serveur.

(iii) Les fonctions de partage des informations

L'ordinateur ou la tablette peut se connecter à plusieurs périphériques comme une imprimante ou un appareil de radiographie (Figure 9). De plus ces logiciels peuvent se synchroniser avec un serveur lorsqu'ils sont connectés à internet. Cet aspect apporte de nombreux avantages qui facilitent la gestion du personnel et la relation avec les clients et les autres vétérinaires. En effet les logiciels My Equine^{MD} et VES^{MD} mettent à disposition des propriétaires, des détenteurs et des vétérinaires référents un accès au dossier médical de l'animal après autorisation de l'administrateur du site internet de la clinique. De même, les clients peuvent avoir accès à leurs factures et les régler en ligne. Du fait des conditions de travail ambulatoire et du coût important des frais médicaux des chevaux, les praticiens équins peuvent avoir un nombre élevé de factures impayées. Le paiement en ligne pourrait permettre de diminuer cette proportion en facilitant l'accès au règlement. De plus les deux logiciels sont équipés d'un module paramétrable de gestion des relances. La relation client est également en partie prise en charge par le logiciel avec un envoi automatique des documents (comptes-rendus de consultation, factures, etc) par email. De plus, la possibilité d'un agenda synchronisé entre tous les vétérinaires d'une même clinique permet d'organiser au mieux le travail entre collaborateurs. Pour VESMD, toutes ces fonctionnalités sont disponibles sur ordinateur ou tablette et certaines d'entre elles le sont sur téléphone intelligent.

L'utilisation du logiciel VES^{MD} est possible en mode hors-ligne lorsque aucun réseau internet n'est disponible. Les informations saisies pendant cette période seront synchronisées une fois le réseau rétabli.

Aucun prix n'est affiché sur les sites commerciaux de VES^{MD} et My Vet Apps^{MD}. Il est nécessaire de les contacter pour obtenir plus d'information.

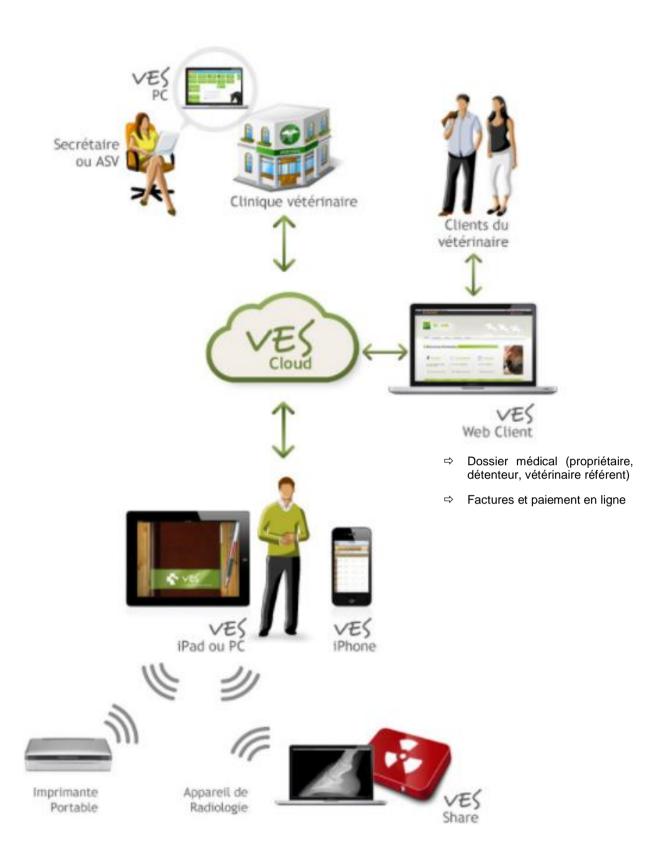


Figure 9: Architecture du logiciel VESMD(47)

c. Applications mobiles pour le praticien équin

Il existe de nombreuses applications qui peuvent aider le praticien équin dans son travail au quotidien, particulièrement lorsqu'il travaille en ambulatoire. Certaines sont très générales comme les applications de GPS, de calendrier en ligne parfois couplé à un logiciel de gestion, de dictaphone, ou de partage de photos/vidéos. Il en existe également des spécifiques au métier de vétérinaire comme notamment:

- Les applications regroupant les informations sur les médicaments comprises dans le « Plumb's veterinary Drug Handbook » (48) ou le « Compendium of Veterinary Products » (49),
- Les applications « VetPDA Calcs » ou « Vet calculator plus » de calculs notamment pour la fluidothérapie, les doses des drogues d'anesthésie, les CRI (Constant Rate Infusions), les transfusions sanguines, l'analyse de l'anion gap, etc (50,51),
- L'application pour l'analyse des résultats d'hématologie de nombreuses espèces dont les chevaux, Vet Tool^{MD} (52),
- L'application du manuel vétérinaire Merck, comportant de nombreuses informations sur toutes les espèces, leurs affections, les techniques diagnostiques, les gestes techniques. Des fiches techniques, des photos et des vidéos sont disponibles (53),
- L'application d'aide au diagnostic « Consultant » développée par l'université vétérinaire de Cornell. Il est possible de rechercher sur cette application un diagnostic différentiel en fonction de l'espèce et des signes cliniques, ou les détails d'une maladie. Pour chaque rubrique les références de la littérature sont données(54).

Les applications Veterinary Advances^{MD} spécialisées pour la médecine équine

Il existe un ensemble de plusieurs applications spécialisées pour la pratique du vétérinaire équin développées par Veterinary Advances^{MD} (Tableau II). On peut notamment citer Equine Drugs^{MD} qui permet de connaître pour chaque médicament les différentes voies d'administration et les différentes posologies selon l'indication. La recherche peut se faire avec les noms commerciaux ou les noms génériques. Les informations présentes dans l'application sont justifiées par des liens vers la littérature de référence. Un calculateur est intégré au système, ainsi lorsque un mode d'administration, une posologie et une concentration du produit sont choisis, la dose est automatiquement calculée en fonction du poids du cheval (Figure 10). Les temps d'attente pour les compétitions internationales et les courses européennes sont données ainsi que les contre-indications pour les juments gestantes. L'utilisateur peut également ajouter des notes personnelles pour chaque médicament.

L'application Equine Techniques^{MD}, quant à elle, donne accès à la description de 54 gestes techniques. Pour chaque procédure peuvent être retrouvés : un texte explicatif, des photos, des vidéos et le matériel nécessaire. Les techniques expliquées s'échelonnent de la pose du cathéter veineux et l'antibiothérapie régionale, à des gestes plus complexes comme la biopsie hépatique ou la mesure du débit cardiaque par dilution du lithium. Les procédures d'urgence comme la réanimation des poulains, la vidange d'un pneumothorax, la trachéotomie ou la transfusion sanguine sont également exposées. Des quizz sont disponibles pour tester ses connaissances.

L'application Equine Lab^{MD} donne les valeurs normales ainsi que des conseils d'interprétation des valeurs anormales concernant 230 tests laboratoires pour 10 signalements différents (âge, niveau d'exercice, race). Ces tests comprennent les analyses fréquentes : l'hématologie, la biochimie, les fluides synoviaux, urinaires, le liquide céphalo-rachidien, les gaz sanguins. Et des analyses moins communes : électrophorèse des protéines, minéraux, vitamines, hormones, temps de coagulation, fluide péritonéal, fluide pleural, liquide de lavage trachéal ou broncho-alvéolaire. Une conversion automatique des valeurs est disponible. Les valeurs usuelles peuvent être modifiées par l'utilisateur pour s'adapter aux analyseurs personnels.

L'application Equine Joint Injections^{MD} donne accès à la description des techniques permettant de réaliser des ponctions articulaires ou des bourses synoviales et des sites d'approches des arthroscopies et synovioscopies. Pour chaque procédure sont disponibles : un texte explicatif, un dessin et/ou des photos de la voie d'abord, la liste du matériel nécessaire (comprenant la quantité d'anesthésique local nécessaire à la l'analgésie régionale), une présentation des complications (Figure 11).

L'application Equine Reproductive Ultrasound^{MD} comprend : un descriptif du cycle de reproduction de la jument dans son ensemble et de l'intérêt de l'échographie dans son suivi, des images et vidéos d'échographie des différentes étapes accompagnées d'une explication. Les périodes incluses sont : l'anestrus, la période de transition, l'oestrus, l'ovulation, le diestrus, la gestation (du 10ème au 65ème jour).

L'application Advanced Equine Reproductive Ultrasound^{MD} illustre le sexage fœtal entre 55-70 jours et 110-140 jours de gestation, le diagnostic et la réduction de gestations gémellaires, les affections utérines et ovariennes. Le sexage est expliqué à travers 12 sections selon la date de l'examen et le plan de coupe. Pour chacune d'elle, on retrouve un texte explicatif, des images et des vidéos.

L'application Equine Radiology^{MD} donne des conseils pour la prise de radiographies des différentes parties du corps (membres, colonne vertébrale, tête, bassin) et selon chaque vue. Pour chacune des manipulations sont présentés : un texte explicatif, un guide pour paramétrer les constantes radiographiques, des photos pour illustrer le positionnement, et des images d'anatomie pour l'interprétation des radiographies.

L'application Equine Dermatology^{MD} est un répertoire de 93 affections cutanées. Elle comprend pour chaque maladie : les signes cliniques (dont 166 photos), les techniques diagnostics, un diagnostic différentiel, les options thérapeutiques et le pronostic associé. L'application propose également 6 vidéos explicatives de techniques diagnostiques.









Calculates the amount to give the horse.

Detailed notes on use in competition horses.

Notes on safety in pregnant mares.

Search by trade name or generic name to find a drug.

Figure 10: L'application Equine Drugs^{MD}







Photos to identify the needle entry point.



A quiz allow you to test your knowledge of topics covered in the App.



Handy equipment list to make sure you have everything ready.

Figure 11: L'application Equine Joint Injections^{MD}



Notes to help you take the perfect X-ray.



CT images to help with radiographic anatomy and orientation.



A quiz allow you to test your knowledge of equine radiography.



Pictures to help with positioning.

Figure 12: L'application Equine Radiology^{MD}

<u>Tableau II: Les applications spécifiques à la pratique vétérinaire équine développées par Veterinary Advances^{MD} (55)</u>

Nom de l'application	Fonctions	Références affichées	Prix
EquiTrace ^{MD}	Identification par puce (localisation du lieu de scan, informations du cheval)	Non	Gratuite
Equine Drugs ^{MD}	 Posologie et voie d'administration pour chaque médicament et indications Calculateur automatique en fonction poids, posologie choisie et concentration. 	Oui, pour chaque médicament et chaque indication	27,05€ ou 2,29\$/mois
Equine Techniques ^{MD}	 Explication de 54 techniques (description, vidéos, photos, matériel nécessaire) Quizz 	Non	23,99\$
Equine Lab ^{MD}	 Valeurs normales de 230 test laboratoire en fonction de 10 signalements (âge, exercice, etc) Notes pour interprétation des valeurs anormales Conversion unités Modification des valeurs possible 	Non	28,99\$
Equine Joint Injections ^{MD}	 Description des abords des ponctions articulaires/synoviales et des arthrosco- pies/synovioscopies (dessins, photos, complications, matériel nécessaire) Quizz 	Non	23,99\$
Equine Reproductive Ultrasound MD			19,99\$
Advanced Equine Reproductive Ultrasound MD	 Illustration du sexage fœtal Diagnostic et réduction de gestation gémellaire Description des affections ovariennes et utérines Quizz 	Non	29,99\$
Equine Radiology ^{MD}	 Détails de la prise des différentes vues (préparation, positionnement et constantes) Exemples de radiographies normales, images d'anatomie 	Non	14,99\$
- Détails de 93 affections cutanées (signes cliniques, diagnostic, traitement, pronostic 166 photos) - Six vidéos explicatives de techniques diagnostics - Quizz		Non	24,99\$

Ces applications peuvent être particulièrement utiles pour les jeunes praticiens équins en ambulatoire. L'entreprise Veterinary Advances^{MD} propose également un service de téléexpertise sans qu'aucun tarif ne soit précisé.

Il existe également des applications que le vétérinaire peut préconiser aux propriétaires de chevaux afin d'avoir accès à des conseils de santé des chevaux. On peut par exemple citer l'application Horse Side Vet Guide^{MD} qui est une base de données regroupant des informations permettant à l'utilisateur de mieux comprendre ce qu'il voit sur son cheval, les maladies dont il est atteint, et de prendre des décisions de façon plus éclairée. L'application comprend 9 catégories : mes observations, diagnostics du vétérinaires, tests diagnostiques vétérinaires, traitements vétérinaires, mes aptitudes, mes équipements, définitions et rubriques, média, et ressources externes. Dans le moteur de recherche l'utilisateur peut entrer des mots-clefs et trouver pour chaque catégorie les articles en lien. Par exemple, avec le mot « sable » on retrouve (Figure 13) :

- Dans « mes observations » les articles sur les adultes et les poulains qui mangent du sable et de la terre,
- Dans les tests diagnostiques vétérinaires, la technique de sédimentation pour détecter la présence de sable,
- Dans les diagnostics vétérinaires, on retrouve les coliques, les sabloses et les impactions.



Figure 13: Utilisation de l'application Horse Side Vet Guide^{MD}(56)

Il est également possible de découvrir les nouveaux sujets abordés, des techniques de premiers soins et des informations générales (comme des images d'anatomie) (56). Il est important que cette application ne se substitue pas au rôle de conseiller du vétérinaire. En effet, il est précisé que l'application ne peut pas remplacer une consultation par celui-ci étant donné que chaque cheval présente ses particularités et que le vétérinaire a la formation adéquate pour les analyser et proposer la marche à suivre. Cependant, l'utilisateur peut comparer les conseils prodigués par l'application et le vétérinaire. Les praticiens doivent donc connaître un minimum d'informations sur ces outils auxquels ils peuvent être confrontés au cours des consultations pour ne pas être mis en porte-à-faux. Cependant, s'ils sont raisonnablement utilisés ces applications peuvent être des outils pertinents pour améliorer les soins de santé apportés aux chevaux.

EN BREF

La plateforme en ligne **Wizzvet^{MD}** permet d'obtenir légalement et facilement une **téléexpertise** auprès de **spécialistes reconnus** (collèges américains ou européens ou ayant suivis une résidence) dans la plupart des espèces et notamment pour les équidés, les bovins et les carnivores domestiques. La plateforme permet un accès à des **conférences** reconnues par le **CNOV**, or la **formation continue** est un **devoir** du vétérinaire et s'en trouve ainsi **facilitée**. Il existe de nombreuses **applications mobiles** au service des vétérinaires dont plusieurs **spécifiques** au domaine équin. Notamment un répertoire des médicaments, de leurs indications et posologies ; un guide d'échographie du tractus reproducteur, un guide de réalisation des radiographies, etc.

II) Objets connectés en lien direct avec la médecine

lci seront développés les objets connectés utilisables par le vétérinaire ou le détenteur de chevaux permettant de suivre les fonctions vitales, de faire un examen d'imagerie ou de monitorer un épisode critique du point de vue médical comme le poulinage.

a. ECG sur smartphone

La compagnie AliveCor^{MD} a été fondée en 2010 aux Etats-unis par Bruce Satchwell, David Albert et Kim Barnett et elle est spécialisée dans le développement d'outil d'enregistrement d'ECG. Elle propose des coques pour iPhone^{MD} 4 à 7 ou des bracelets pour Apple Watch^{MD} qui permettent d'obtenir sans connexion filaire des ECG. Il existe une version pour les humains approuvée par la Food and Drug Administration (FDA) et une version utilisable pour les animaux. Cette dernière est nommée « Alive-Cor Veterinary Heart Monitor » et consiste en une coque pour iPhone^{MD} 4 à 7 (Figure 14) contenant des capteurs permettant de relever un ECG sur les animaux et de le transférer sur le téléphone dans l'application mobile «Veterinary AliveECG». Les données peuvent ensuite être imprimées, envoyées par email, transformées en PDF ou transférées sur le serveur AliveCor^{MD} pour ensuite être accessibles sur n'importe quel outil ayant accès à une connexion internet. Le serveur permet notamment de revisualiser des enregistrements ECG, de les partager et de les imprimer à distance (Figure 15).



Figure 14: La coque « Veterinary iPhone ECG » (47)

VETERINARY iPhone® ECG **** VETERINARY HEART MONITOR** DEVICE AliveCor^{*} THE DEVICE Veterinary Heart Monitor The Veterinary Heart Monitor snaps onto your iPhone 4 / 4S / 5 / 5S / 6 / 6S / SE / 7 like a case and wirelesly communicates with the app on your phone. No pairing between your iPhone® and the Heart Monitor is re-THE APP THE APP AliveECG Vet The AliveECG Vet app is available for free download from the Apple® App Store. Once in the app, create an account and you're ready to begin recording ECGs. It's that easy to get started. THE WEB AliveCorVet.com THE WEB AliveCorVet.com provides you with anytime, anywhere, secure online

Figure 15: Fonctionnement du Veterinary iPhone^{MD} ECG (47)

Within your hub you are able to

analyse, print and share your ECGs.

The online services will continue to

expand based on customer feedback.

access to all of your uploaded ECGs.
Once you have the Veterinary Heart

Monitor and the AliveECG Vet app

you can create an account that gives

you access to your personal ECG hub.

Pour obtenir l'enregistrement d'un ECG il est préconisé de coucher l'animal sur son côté droit pour obtenir un tracé avec le moins d'interférence possible. Si cette manipulation est envisageable sur les petits animaux domestiques, elle est difficile chez les chevaux. Cependant, l'enregistrement est possible sur animal debout et notamment sur les chevaux. La coque est équipée de deux électrodes métalliques qui devront être appliquées sur la peau imbibée d'alcool, tondue ou non, sur le côté gauche de l'animal avec un angle cranio-dorsal de 45° par rapport à l'axe longitudinal de sorte que le téléphone soit en regard et parallèle au grand axe du cœur. Dans l'étude de 2018 par Vezzosi et al, le téléphone était placé caudalement à l'olécrâne gauche avec un angle cranio-dorsal et caudo-ventrale de 30°(57). De bons résultats ont été obtenus avec cette méthode. Pour des raisons de polarité la partie basse de l'iPhone (soit du côté du bouton rond) doit être placée vers l'avant de l'animal pour que le tracé ne soit pas inversé. Une certaine pression doit être appliquée pendant l'enregistrement et l'animal doit bouger le moins possible pour limiter les artefacts. Un voyant vert sur l'application mobile indique que le contact entre les électrodes et la peau de l'animal est satisfaisant. Pour les chiens et les chats il est possible d'effectuer un enregistrement en appliquant les coussinets d'un antérieur sur chaque électrode. La durée d'enregistrement est définie à l'avance par l'utilisateur. Si le contact entre les électrodes et la peau de l'animal est perdu moins de 10 secondes après le début de l'enregistrement celui-ci ne sera pas sauvegardé dans le téléphone et ne pourra pas être revisualisé. Si la sauvegarde a pu être effectuée, le tracé sera disponible avec la valeur de la fréquence cardiaque moyenne et il est possible d'inverser le tracé dans le cas où l'orientation du téléphone était incorrecte.

Plusieurs études se sont intéressées à la fiabilité de ce dispositif sur les différentes espèces. On peut notamment citer pour les carnivores domestiques deux études : l'une en 2016 par Kraus et al et l'autre en 2016 par Vezzosi et al. Ces deux études ont conclu que les tracés étaient fiables pour évaluer le rythme cardiaque, la fréquence cardiaque et détecter les arythmies (58,59). En 2016 Smith et al se sont intéressés à la fiabilité du dispositif chez des bufflons et ont conclu que le dispositif était fiable pour évaluer la fréquence cardiaque et le rythme sinusal chez ces animaux (60). Lors du 59ème congrès de l'American Association of Equine Practitioners (AAEP), Kraus et al ont présenté une étude qui comparait chez 20 chevaux le tracé ECG entre le dispositif AliveCor et une technique de référence apex-base. D'après les actes du congrès, leur recherche a permis de montrer que la fréquence cardiaque évaluée manuellement sur le tracé ECG grâce au dispositif AliveCor était quasiment identique à celle mesurée avec une technique classique base-apex. De légères différences ont été retrouvées concernant la polarité des complexes QRS entre les deux méthodes (61). Ces résultats étaient cependant très succinctement présentés. En mars 2018 Vezzosi et al ont également testé la fiabilité du dispositif dans l'espèce équine. Ils ont conclu que le tracé de l'ECG par le smartphone était interprétable dans 96% des cas, ce qui est comparable aux résultats chez l'Homme et les petits animaux. Cette étude a été menée sur un effectif de 50 chevaux sains sur lesquels l'ECG a été simultanément mesuré par le dispositif Veterinary iPhone^{MD} ECG et par une méthode classique « base-apex une dérivation ». Il a également été montré que la fréquence cardiaque automatiquement évaluée par l'application n'était pas fiable mais que son calcul manuel à partir du tracé ECG présentait une correspondance parfaite avec sa mesure en utilisant la méthode d'ECG classique. Des différences minimes non significatives sur le plan clinique ont été mises en évidences vis-à-vis des ondes électrocardiographiques P. Q. R. S. T et de leurs intervalles. De plus, il y avait significativement plus d'artefacts sur la ligne de base avec le tracé ECG sur téléphone. Finalement, ce dispositif semble être fiable pour l'évaluation de l'ECG une dérivation du rythme sinusal normal chez le cheval. Cependant l'étude ne s'est pas intéressée à la détection d'arythmie comme cela a été fait chez les petits animaux (57,59). Ainsi des recherches complémentaires seraient nécessaires chez le cheval pour établir la valeur diagnostic de ce dispositif pour leur mise en évidence.

Le produit n'est pas directement en vente sur le site www.alivecorvet.com mais il est commandable en ligne sur le site de plusieurs distributeurs à des prix variés. Les différents prix retrouvés suite à la recherche des mots clefs « AliveCor Veterinary Heart Monitor », « prix » ou « price » dans le moteur de recherche Google^{MD} sont résumés dans le Tableau III.

<u>Tableau III: Les différents prix disponibles pour le dispositif iPhone Veterinary</u>
Heart Monitor^{MD}

Nom du distributeur	Prix affiché en ligne
Sensor Health Veterinary Diagnostics ^{MD}	425\$ (US)
Praxisdienst ^{MD}	285€
Galileo Diagnostics by Genclis ^{MD}	335€

b. Echographes connectés

Il existe depuis plusieurs années de nombreux échographes portables qui permettent l'utilisation de cet outil diagnostic sur le terrain et pas seulement dans un cabinet ou une clinique vétérinaire. Avec la démocratisation des téléphones intelligents et des tablettes, certaines compagnies se sont intéressées au développement de sondes et d'applications qui permettraient d'utiliser ces nouveaux outils de communication pour l'imagerie médicale. Un de ces dispositifs est spécialisé pour l'exercice vétérinaire tandis que les autres sont principalement conçus pour la médecine humaine et notamment urgentiste.

Oscult'Vet^{MD} par Oscadi^M, créé pour les vétérinaires (62)

Oscadi^{MD} est une société française créée en 2010 à la Réunion par Olivier Sautron et est spécialisée dans la fabrication et la distribution d'échographes portables. Elle propose deux gammes : une pour la médecine humaine nommée Oscult^{MD} et une pour la médecine vétérinaire nommée Oscult'VetMD. Elle est actuellement la seule sur le marché à proposer une gamme d'échographes connectés dédiés aux vétérinaires. Le produit Oscult'Vet^{MD} est présenté dans la Figure 16 et consiste en une tablette iPad^{MD}, une coque résistante aux chocs et diverses sondes selon les besoins de l'examen. L'application permettant de réaliser l'échographie est directement présente sur la tablette avec des préréglages pour s'adapter aux différentes espèces : chiens, chats, nouveaux animaux de compagnie, chevaux, etc. Si le dispositif est connecté à un réseau internet (WiFi, 3G ou 4G) et que l'utilisateur a créé un compte sur oscult.net, il est possible d'utiliser la fonction de partage des images en direct. Ainsi un confrère, un expert ou encore un formateur pourront échanger en temps réel avec le manipulateur sur l'examen en cours. On se retrouve alors dans une situation de téléassistance ou de téléexpertise. Cet aspect peut être particulièrement intéressant pour l'apprentissage des jeunes praticiens encadrés à distance par leurs aînés. D'autres fonctions peuvent être utiles comme : les commandes à la voix pour le paramétrage de l'échographe et/ou prendre des images, et la retranscription d'un rapport écrit à partir d'un enregistrement oral.



Figure 16: L'échographe portable et connecté Oscul'Vet^{MD} par Oscadi^{MD}(62)

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial. Seuls les soutiens obtenus sont mentionnés dont notamment les trophées 2016 de la e-santé. Aucun article n'a pu être trouvé concernant la fiabilité de ce dispositif en utilisant les mots-clefs « Oscult'Vet » « Ultrasound » et « accuracy » sur les moteurs de recherche Google Scholar^{MD}, PubMed^{MD} et ScienceDirect^{MD}. Le produit n'est actuellement ni en vente, ni en précommande.

L'échographe iQ^{MD} de Butterfly^{MD}, une nouvelle technolgie (63)

Butterfly^{MD} est une entreprise américaine fondée en 2011 par Jonathan M. Rothberg, Nevada Sanchez et Tyler S. Ralston et est spécialisée dans le développement et la distribution d'appareils d'imagerie médicale portatifs à bas coût. Elle propose une sonde qui se connecte à un iPhone et qui a la particularité de ne pas utiliser la technologie classique d'un cristal piézoélectrique mais celle des semi-conducteurs. En effet, les cristaux piézoélectriques sont très couteux et fragiles, ils ont donc cherché à développer une technologie aussi performante et moins coûteuse. La sonde est équipée de 9000 capteurs comparables à de micro-tambours remplis de silicate appelés CMUTs (Capacitive Micro-machined Ultrasound Transducer) qui permettent d'émettre et de recevoir des ondes sonores. La bande passante de ces capteurs est plus large que celle des cristaux piézoélectriques classiques donc il a été possible de combiner trois bandes passantes et directionalités différentes dans une seule sonde. Ainsi les capacités d'une sonde linéaire, d'une curviligne et d'une « phased array » sont regroupées en seule et unique sonde (Figure 17). Elle a été approuvé par la FDA pour 13 applications cliniques différentes (Tableau IV), ce qui est une première pour une unique sonde. Un ensemble de 33 brevets ont été déposés aux autorités américaine lors du développement du dispositif.



Figure 17: La sonde échographique iQ de Butterfly^{MD} (D'après www.butterflynetwork.com)

<u>Tableau IV: Applications cliniques approuvées par la FDA pour la sonde iQ de</u>

Butterfly^{MD}

Applications cliniques approuvées par la FDA pour la sonde iQ					
Abdominale					
Cardiologie des adultes					
Cardiologie pédiatrique					
Obstétrique					
Evaluation fœtale					
Gynécologie					
Evaluation musculosquelettique convention- nelle					
Evaluation musculosquelettique superficielle					
Pédiatrie					
Vaisseaux périphériques					
Echoguidage					
Petits organes					
Urologie					

Plusieurs modes sont disponibles avec la sonde iQ et l'application associée dont notamment les modes : B, doppler, temps-mouvement, etc. Une des particularités du produit est qu'une intelligence artificielle a été intégrée pour aider l'utilisateur dans la réalisation de ses échographies. L'objectif est de faciliter la mise en évidence d'affection par des manipulateurs peu expérimentés.

Aucun partenariat scientifique n'est clairement mis en évidence mis à part un conseil composé de professeurs de différentes universités ou écoles américaines reconnues mondialement comme l'université de Harvard ou le Massacusetts Institute of Technology (MIT). De plus, la société annonce leur participation à différents congrès médicaux aux États-Unis cette année. Aucun article n'a pu être répertorié concernant la fiabilité du dispositif sur les moteurs de recherche Google Shcolar, PubMed et ScienceDirect en utilisant les mots clefs « iQ », « butterfly », « ultrasound » et « accuracy ». Le produit n'est pas encore disponible à la vente mais il est possible d'en réserver un exemplaire pour moins de 2000\$\$ d'après le site internet. La livraison est prévue pour l'année 2018 mais aucune date précise n'est indiquée. Pour réserver une sonde il suffit de remplir un formulaire en ligne. L'équipe de Butterfly^{MD} recontacte ensuite les potentiels clients pour procéder au règlement et vérifier le statut de médecin. La spécialité de vétérinaire est incluse dans leur liste de personnels soignants autorisés à acheter le dispositif.

Echographes liés à un smartphone : Sonon $300C^{MD}$ de Healcerion MD , Clarius MD , Lumify MD de Philips MD (64–66)

Plusieurs sociétés ont créé des dispositifs communiquant avec les téléphones intelligents et/ou les tablettes tactiles afin de réaliser un examen échographique. A la différence de la sonde iQ de Butterfly^{MD}, les sondes présentées dans ce paragraphe sont issues d'une technologie classique de cristal piézoélectrique. On peut en citer trois qui sont principalement développées pour la pratique de la médecine humaine : Sonon 300^{MD} de Healcerion^{MD} fondée en Corée du Sud en 2012, Clarius^{MD} fondée en 2014 au Canada, et Lumify^{MD} de Philips^{MD} fondée en 1891 au Pays-bas. Les sondes Clarius^{MD} et Sonon 300^{MD} ont l'avantage de fonctionner sans fil en communiquant par WiFi avec les téléphones ou tablettes (Figure 18).

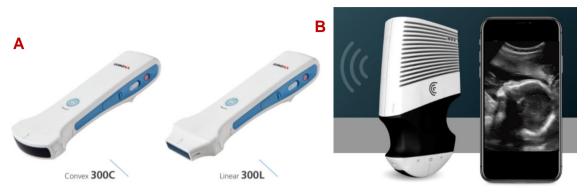


Figure 18: Les sondes échographiques sans fil Sonon 300^{MD}(A) et Clarius^{MD} (B) (D'après www.clarius.com et www.healcerion.com)

La particularité de Clarius^{MD} est que la médecine vétérinaire est considérée comme une des spécialités pour laquelle leur dispositif est utilisable. Un site internet est dédié à la publicité faite pour la médecine vétérinaire : www.ivetultrasound.com. Ils présentent notamment une sonde micro-convexe C7 pour l'examen des petits animaux de compagnie, cependant il n'y a pas de gamme spécialement développée pour les vétérinaires comme chez Oscul'Vet^{MD}. La sonde Lumify^{MD} de Philips^{MD} nécessite quant à elle une connexion filaire avec le dispositif mobile et ne peut fonctionner que sur les appareils utilisant le système d'exploitation Android^{MD}. Les différentes caractéristiques de chacun de ces produits sont présentées dans le Tableau V.

<u>Tableau V: Spécificités des 3 sondes échographiques communiquant avec des téléphones intelligents</u>

Marque du dispositif	Sonon 300	Clarius	Lumify
Technologie	Cristaux piézoélec- triques	Cristaux pié- zoélectriques	Cristaux piézoé- lectriques
Système d'exploitation supporté	Android et iOS	Android et iOS	Android
Types de sondes	Linéaire et curviligne	Linéaire, cur- viligne, micro- convexe, phased array	Linéaire, curvi- ligne, phased array
Prix	Non connu	19 995\$ ou 295\$/mois	199\$ + 75\$ (garantie)/mois

Seule Clarius présente clairement plusieurs partenariats scientifiques sur le site internet : l'université de Colombie Britannique, l'hôpital Coastal Health de Vancouver, l'entreprise Arthrex^{MD} d'outils de chirurgie et le groupe Hologic^{MD}. Par ailleurs, un article par Kim et al en septembre 2017 a montré l'intérêt pédagogique que peut apporter

le dispositif Sonon 300^{MD}(67). De même, une autre étude réalisée par Leung et al en mars 2018 a démontré que le dispositif Lumify^{MD} était utile pour la téléassistance dans la réalisation d'une échocardiographie ainsi que dans l'apprentissage de ce geste technique par des étudiants (68). Aucune étude s'intéressant à la valeur diagnostique de ces échographes n'a été trouvé en utilisant les mots clefs « ultrasound » « accuracy » « lumify » ou « sonon 300 » sur les moteurs de recherche Google Scholar, ScienceDirect et PubMed.

D'autres dispositifs de petites tailles existent dont notamment Vscan Extend^{MD} de GE Healthcare^{MD} ou MobiUS SP1^{MD} de MobiSante^{MD}. Cependant ces systèmes ne peuvent pas se synchroniser avec une tablette ou un téléphone intelligent déjà en la possession du manipulateur. Ainsi il s'agit plutôt d'une miniaturisation d'un échographe à la taille d'un téléphone plutôt que de l'utilisation de leur technologie. C'est pourquoi nous ne développerons pas plus ces solutions.

c. Stéthoscopes électroniques

Depuis quelques années les stéthoscopes électroniques ont fait leur apparition sur le marché. Il en existe de nombreux pour la médecine humaine mais seule la société eKuore^{MD} propose une gamme dédiée à la pratique vétérinaire. Ils proposent également un ECG connecté et un endoscope digital principalement utilisables chez les petits animaux.

eKuore Vet^{MD}(69)

L'entreprise eKuore^{MD} a été fondée en Espagne en 2012 par Bernardo Trillo et Guillermo López Marín et est spécialisée dans le développement et la distribution de dispositifs médicaux connectés aux technologies mobiles. Une des particularités de cette entreprise est qu'elle a commencé par développer un stéthoscope connecté pour la médecine vétérinaire avec un lancement en 2014 puis l'équivalent pour la médecine humaine en 2016. Depuis 2017, un partenariat a été créé avec le laboratoire Boehringer Ingelheim^{MD}. Deux générations de stéthoscopes électroniques sont proposées pour les auscultations cardiaque et pulmonaire des animaux, la seconde est présentée dans la Figure 19.



Figure 19: Le stéthoscope électronique eKuore Vet I^{MD} à gauche et Vet II^{MD} à droite

(D'après www.ekuore.com)

Les deux gammes sont des dispositifs sans fil qui permettent de transmettre par bluetooth les sons détectés à un téléphone intelligent, sur l'application eKuore^{MD} dédiée. L'auscultation peut être écoutée grâce à des écouteurs branchés sur le téléphone ou directement via ses enceintes. L'application permet de visualiser le phonogramme et mesure la fréquence cardiaque automatiquement. Il est possible d'enregistrer un examen et de l'envoyer depuis l'application à une tierce personne comme par exemple à un spécialiste ou à des étudiants. Il est possible de le partager par plusieurs moyens: mail, WhatsAppMD, etc. Une des fonctions de ces produits est d'amplifier le signal jusqu'à 20 fois. Il est également possible d'appliquer un filtre pour les bruits cardiaques ou pulmonaires. Une des grandes différences entre les deux générations est que la seconde ne nécessite pas le branchement d'un boitier « receveur » au téléphone intelligent pour fonctionner (Figure 19). De plus, la qualité sonore du produit eKuore Vet II^{MD} est améliorée par rapport à la précédente version, les bruits parasites ont été éliminés, l'application des filtres et l'enregistrement sont gérables directement sur le stéthoscope, et la compatibilité avec les systèmes d'exploitations des téléphones mobiles a été augmentée. Les deux versions sont compatibles avec les systèmes d'exploitation Android à partir de 4.0 et iOS à partir de 7.1.

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial et aucune étude n'a été trouvée sur les moteurs de recherche Google Scholar, PubMed et ScienceDirect en utilisant les mots clefs « eKuore » et « stethoscope ». Les deux produits sont en vente au prix de 299€ pour la première génération et 399€ pour la seconde. Il

est possible d'acheter un kit comprenant en plus du stéthoscope : un coffre de rangement, un casque audio, un pavillon interchangeable type pédiatrique, une enceinte bluetooth et un manuel d'utilisation approfondi. Il est au prix de 499€ pour le kit Premium eKuore Vet I^{MD} et 600€ pour eKuore Vet II^{MD}.

Les stéthoscopes électroniques développés pour la médecine humaine (70–75)

Il existe de nombreuses marques proposant des stéthoscopes électroniques pour la médecine humaine, parmi ceux-ci certains ont été plus médiatisés et plus largement utilisés dans les études. C'est le cas des stéthoscopes Littmann 3200^{MD}, One de ThinkLabs^{MD} et Elite de Welch Allyn^{MD}. Cependant ce dernier n'est actuellement plus disponible à la vente alors qu'il s'agit d'un des modèles les plus étudiés dans les articles et que sa fiabilité a été reconnue notamment pour grader les souffles cardiaques chez le chien (76–78). Bien que développés pour l'Homme, leur utilisation est possible chez les animaux et a fait l'objet d'étude pour certains d'entre eux. Sont présentées dans le Tableau VI les fonctionnalités de 7 stéthoscopes électroniques qui semblent actuellement encore sur le marché, c'est-à-dire avec un site internet à jour et des produits en stocks, ou qui sont en cours de développement. Leur design est quant à lui exposé dans la Figure 20. L'objectif premier des stéthoscopes électroniques est d'améliorer la qualité de l'auscultation cardiaque et pulmonaire en amplifiant les bruits souhaités et en réduisant les sons parasites comme le bruit ambiant et les frictions. Ces deux fonctions sont présentes dans tous les dispositifs présentés dans le Tableau VI à l'exception du CliniCloud^{MD} pour leguel ces informations ne sont pas disponibles sur le site internet commercial. Le son est amplifié de 18 à 100 fois selon le stéthoscope et l'utilisation de différents filtres de fréquences est possible sur chacun d'eux. Certaines fonctionnalités ne sont pas partagées par tous les modèles :

- Seul le dispositif Eko Core^{MD} s'utilise en combinaison avec un stéthoscope acoustique classique. En effet, il est possible de n'acheter que le microphone qui s'adapte sur de nombreux stéthoscopes comme les 3M Littmann Cardiology II/III/IV^{MD}, le WelchAllyn Harvey Elite^{MD}, les Medline^{MD} et les ADC^{MD}. Les avantages de cette combinaison est que l'utilisateur peut facilement changer de mode selon ses besoins, il peut l'adapter à son propre matériel auquel il est habitué et le dispositif est relativement peu coûteux (199\$ pour le microphone).
- Eko Core^{MD}, Eko Duo^{MD} et CliniCloud^{MD} peuvent se connecter à une application sur téléphone intelligent afin de tracer un phonogramme, lancer un enregistrement, obtenir un service de téléconsultation et tracer un ECG pour Eko Duo^{MD}. Le stéthoscope 3M Littmann 3200^{MD} peut se synchroniser par Bluetooth à un ordinateur afin de récupérer des enregistrements, obtenir un phonogramme grâce au logiciel StethAssist^{MD} et partager en temps réel les auscultations grâce au logiciel TeleSteth^{MD} System.
- 3M Littmann 3200^{MD}, Eko Core^{MD}, Eko Duo^{MD} et CliniCloud^{MD} calculent automatiquement la fréquence cardiaque du patient. Ces produits étant développés pour l'Homme, on pourrait se demander si ces calculs sont fiables pour d'autres espèces. En effet, certains bruits cardiaques peuvent être dédoublés chez des chevaux normaux (79) ce qui pourrait fausser ce calcul.
- 3M Littmann 3200^{MD}, Eko Core^{MD}, Eko Duo^{MD} et CliniCloud^{MD} ont été approuvé par la FDA. Pour les autres cette information n'est pas disponible.

• Le stéthoscope CliniCloud^{MD} est le moins cher du marché mais est également celui pour lequel on a le moins d'information. Sur leur site commercial il est clair que ce ne sont pas les professionnels de santé qui sont visés comme marché mais les particuliers.



Figure 20: Présentation de 7 stéthoscopes électroniques

Tableau VI: 7 stéthoscopes connectés actuellement en vente

	3M Littmann 3200 ^{MD}	Eko Core	Eko Duo ^{MD}	CliniCloud ^{MD}	E-scope ^{MD} de Cardio- nics ^{MD}	One de ThinkLabs ^{MD}	Adscope 658 ^{MD}
Associé à un stéthos- cope acous- tique	Non	Oui (com- patible avec la plupart des stéthos- copes)	Non	Non	Non	Non	Non
Moyen de communica-tion	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Non connu	Aucun	Câble jack	Aucun
Applications associée	Non Logiciel StethAssist MD sur ordi- nateur	Oui Phono- gramme	Oui Phono- gramme ECG	Oui Phonogramme	Non	Non (compa- tible avec autres applica- tions d'enregis- trement)	Non
Partage en temps réel en ligne	Oui avec l'achat de 3M ^{MD} Te- leSteth ^{MD} System	Oui	Oui	Non (enregis- trement et par- tage)	Non (enre- gistrement et partage)	Non	Non
Amplifica- tion des sons	x24	x40	x60	Non connu	x30	x100	x18
Filtrage/Ré- duction du bruit am- bient	Oui	Oui	Oui	Non connu	Oui	Oui	Oui
Fréquence cardiaque	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Systèmes d'exploita- tion compa- tible	Non appli- cable	Android, iOS, Win- dows	Android, iOS, Win- dows	Non connu	Non appli- cable	Non applicable	Non appli- cable
Approuvé par le FDA	Oui	Oui	Oui	Oui	Non connu	Non connu	Non connu
Autre	- Réduction des bruits de friction - Enregistre- ment	- En vente avec ou sans sté- thoscope acoustique - Enregis- trement - Service de téléconsul- tation	- ECG - Prise jack pour écou- teurs - Enregis- trement - Service de téléconsul- tation	- Service de téléconsulta- tion - Enregistre- ment		- Prise jack pour écouteurs - Câble ThinkLinkMD pour brancher un téléphone, tablette, ordi- nateur - Transmetteur bluetooth ex- terne	
Prix	382,60- 461,95\$	-199\$ seul - 299\$ avec stéthoscope	299-399\$ (réservation seulement)	99\$	335\$	499\$	239,99\$
Références	(76–84)	Aucune	Aucune	(82,85,86)	(78)	(84,87–94)	Aucune

d. Systèmes de détection des boiteries

La détection des boiteries chez les chevaux est la plupart du temps réalisée par évaluation subjective du vétérinaire. Pour la recherche, il existe des outils de quantification complexes et nécessitant du matériel et des infrastructures spécialisées comme l'analyse vidéo avec des marqueurs ou encore le tapis d'analyse des forces d'impact. A l'heure actuelle, il existe plusieurs systèmes de détection des boiteries plus facilement utilisables sur le terrain par les vétérinaires voire les entraîneurs et les particuliers. On peut notamment citer les 5 produits suivants : Equinosis Q^{MD}, Equi-Moves^{MD}(80), Equusys^{MD}(81), Equimetrix^{MD}(82) et Pegasus^{MD}(83). Cependant seule l'entreprise Equinosis LLC^{MD} semble actuellement encore en activité. En effet c'est la seule dont le site internet est complet et tenu à jour, les autres datant de 2013 et moins ou contenant très peu d'informations (EquiMoves^{MD}). Nous ne développerons donc ici que le dispositif Equinosis^{MD} Q avec Lameness Locator^{MD}.

Equinosis LLC^{MD} a été créée en 2007 aux Etats-Unis par le docteur vétérinaire Kevin Keegan, également diplômé de l'American College of Veterinary Surgeons (ACVS), dans le but de développer un outil utilisable sur le terrain par les vétérinaires pour détecter les boiteries : Equinosis^{MD} Q with Lameness Locator^{MD}. Ce dispositif est composé de deux petits boitiers comportant les capteurs inertiels se plaçant sur la tête et sur la croupe du cheval, un boitier comportant un gyroscope se plaçant sur l'antérieur droit au niveau du paturon, une tablette équipée du logiciel Lameness Locator^{MD}, une antenne Bluetooth longue distance, 2 aimants pour activer les boitiers et les systèmes d'attache sur le cheval (Figure 21). Une fois les capteurs placés et le logiciel synchronisé, l'acquisition peut être lancée. L'examen doit impérativement se faire au trot en ligne droite, lorsque le cheval est en cercle il a tendance à orienter son axe vertical vers le centre du cercle ce qui fausse les résultats du logiciel. Il n'est pas précisé si le sol doit être dur ou mou. Les données sont transmises en temps réel à la tablette et seront analysées une fois l'examen terminé. L'utilisateur obtiendra alors des informations concernant la présence ou l'absence de boiterie, son intensité, le ou les membres atteints, le moment du pic de douleur au cours de la foulée (amortissement, soutènement, propulsion). La détection des boiteries est basée sur l'existence d'une asymétrie de la foulée et de sa direction. Toutes les informations sont résumées sur une seule page sous la forme de graphiques et de tableaux. Pour obtenir des résultats avec un intervalle de confiance de 95%, il faut récolter des données sur 25 foulées de trot. Cependant lorsqu'il s'agit de comparer les résultats avant et après un test de flexion il est possible de faire l'acquisition sur 8 à 10 foulées seulement. La précision des capteurs est inférieure à 1mm et une différence de 3mm dans l'amplitude des mouvements de l'axe du cheval pourrait indiquer une boiterie. Le dispositif est particulièrement préconisé pour évaluer l'amplitude de l'amélioration ou de la détérioration d'une boiterie de faible intensité après des blocs nerveux, des tests de flexion ou un traitement. Une des limites du dispositif soulevée par son inventeur, Dr Keegan, est que la détection des boiterie bilatérales peut être difficile. Cette limite est commune à tous les systèmes s'intéressant à la symétrie des foulées : capteurs inertiels, analyse d'image et plateforme de mesure des forces d'impact. En effet, si la boiterie est exactement de même amplitude sur les deux membres alors la symétrie de la foulée est respectée. Or, dans la pratique une boiterie bilatérale est rarement de même intensité des deux côtés ainsi le membre le plus atteint pourra être détecté par l'utilisateur. Une étude réalisée par Keegan et al en 2012 supporte cette hypothèse (84). Il sera peutêtre nécessaire d'utiliser des méthodes connexes pour objectiver cette bilatéralité comme la latéralisation de la boiterie en empirant un côté par différentes méthodes :

test de flexion, test d'appui controlatéral, etc. L'équipe de Equinosis LLC^{MD} recherche actuellement des solutions pour objectiver et quantifier ces boiteries bilatérales, une des pistes étant la comparaison du rebond avant et après la mise en place de blocs nerveux (85).



Figure 21: Le système Equinosis^{MD} Q with Lameness Locator^{MD}(86)

Le système Q veut s'imposer comme le « Gold Standard » de la détection et la quantification des boiteries sur le terrain. Plus de 60 universités l'utilisent dans le monde entier et 80% des universités vétérinaires nord-américaine en sont équipées. Il apparaît dans des articles à de nombreuses reprises afin de mettre en évidence sa fiabilité ou de l'utiliser pour quantifier les boiteries. Une étude réalisée par McCracken et al en 2012 sur 15 chevaux a comparé la sensibilité de la détection des boiteries par l'évaluation subjective de trois vétérinaires équins expérimentés et par le dispositif de Equinosis LLC^{MD}. Les boiteries étaient induites par des fers spéciaux qui permettent d'appliquer une pression sur la sole. Les chevaux étaient évaluées simultanément par les vétérinaires et le dispositif à plusieurs reprises : 1) avant l'insertion des vis, 2) après insertion des vis de sorte qu'elles soient seulement en contact avec la sole, 3) après avoir serré la vis d'un demi-tour. Le nombre de tours de vis nécessaires pour détecter et localiser la boiterie a été comparé entre les deux méthodes. Cette étude a montré que dans 58,33% des cas (35 essais) le dispositif a localisé la boiterie avant les 3 vétérinaires expérimentés, dans 8,33% (5 essais) les vétérinaires ont détecté la boiterie en premier et dans 33,33% (20 essais) ils l'ont détecté au même moment. Ainsi Equinosis^{MD} Q avec le Lameness Locator^{MD} semble être un outil efficace dans la détection des boiteries (87). L'accord entre l'évaluation subjective de trois vétérinaires expérimentés et le dispositif est passable à modéré pour les antérieurs et faible à passable pour les postérieurs selon une étude de Keegan et al en 2013 (88). La conclusion était similaire pour une étude réalisée par Donnell et al en 2015 sur des boiteries légères à modérées induites par chirurgie. Cette dernière montrait également que le statut de « Gold Standard » des tapis de mesure des forces d'impact pour les boiteries devrait être reconsidéré (89). Cependant Keegan et al ont montré en 2010 que l'évaluation subjective ne pouvait être utilisée comme « gold standard » du fait d'un manque de répétabilité dans la détection des boiteries spécialement pour les grades inférieurs

à 1.5 sur l'échelle de l'AAEP et les boiteries postérieures (90). En comparaison la répétabilité du système basé sur les capteurs de mouvement a été démontré en 2011 par Keegan et al (91). Ainsi le système peut être particulièrement intéressant dans le suivi des chevaux après un traitement ou au cours d'un programme de réhabilitation. De plus, d'après l'article de Marshall et al en 2012 la variation des mesures récoltées avec le système suite à un test de flexion positif sur les postérieurs était significative (92). Ainsi il peut être utilisé pour évaluer la réponse d'un cheval à ce test. Un point important soulevé par Moorman et al en 2017 est que le positionnement du capteur pelvien doit être très précis pour que les résultats soient fiables (93). En 2016, Lopes et al ont montré que le système ne pouvait pas détecter des boiteries au galop de manière fiable (94).

Sur le moteur de recherche Google Scholar les mots clefs « equinosis » et « lameness locator » permettent de recenser 34 autres études utilisant le système Equinosis^{MD} Q avec Lameness Locator^{MD}. Certaines n'utilisant que celui-ci pour évaluer les boiteries.

Le dispositif est actuellement en vente mais aucun prix n'est affiché sur le site commercial et sa commande n'est pas directement accessible en ligne.

e. Puces électroniques mesurant la température corporelle (95,96)

Un des moyens de base pour évaluer le statut médical d'un animal est la mesure de sa température corporelle, communément grâce à un thermomètre digital par voie rectale. Il existe à l'heure actuelle plusieurs autres méthodes comme les thermomètres infra-rouge, les micropuces ou encore la télémétrie. Cette dernière consiste en l'implantation d'un capteur dans l'abdomen, ce qui est exclusivement utilisé en laboratoire de recherche. Ainsi nous développerons dans ce paragraphe uniquement les micropuces qui sont facilement implantables par un vétérinaire, minimalement invasives et qui permettent de mesurer la température corporelle d'un animal sans le toucher. Deux produits semblent actuellement en vente: Bio-Thermo^{MD} de Destron Fearing^{MD} et IPTT-300^{MD} de BMDS^{MD} (Figure 22). Ces deux puces permettent d'identifier l'animal et de mesurer sa température corporelle à la fois. De plus la puce de BMDS^{MD} est programmable afin que le code d'identification soit choisi par l'utilisateur. La particularité du produit développé par Destron Fearing^{MD} est que son utilisation est prévue dans l'espèce équine, de ce fait il répond aux normes exigées par l'USDA (United States Department of Agriculture) et la FEI. De plus, il est vendu à l'unité par opposition à l'IPTT-300^{MD} qui se vend par paquet de 100. Ce dernier est plus communément utilisé dans les laboratoires de recherche où l'achat d'une grande quantité est souvent nécessaire. Les deux produits sont fabriqués de sorte que la migration de la puce soit minimisée en promouvant son adhésion aux tissus. La procédure d'implantation est similaire aux puces d'identification : chaque micropuce étant pré-insérée dans une seringue à usage unique il suffit de réaliser une injection soit sous-cutanée (décrite par

BMDS^{MD}) soit dans le ligament nucal (décrite par Destron Fearing^{MD}). Après implantation, le seul moyen pour récolter les mesures est de scanner l'animal au niveau du site d'injection avec un lecteur compatible.

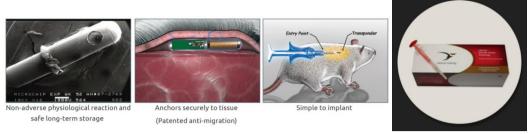


Figure 22: La micropuce IPTT-300^{MD} (gauche) et Bio-Thermo^{MD} (droite) (95,96)

Ces deux dispositifs ont plusieurs fois été étudiés ou utilisés dans la littérature mais seul le dispositif de Destron Fearing^{MD} a été testé dans l'espèce équine (97,98). Du fait de la localisation sous-cutanée de la micropuce les mesures sont influencées par la température ambiante. Ainsi les valeurs des deux dispositifs sont moins représentatives de la température corporelle que celles récoltées avec un thermomètre rectal (97,99). Par exemple dans une étude menée en 2008 par Robinson et al, le dispositif Bio-Thermo^{MD} a montré une sensibilité de détection d'hyperthermie dans l'espèce équine de 87,4% à une température ambiante de 29°C et de 53,3% à -2,7°C (97). Ainsi cette méthode n'est pas fiable dans toutes les conditions.

Sur le moteur de recherche Google Scholar, 13 études utilisant le dispositif Bio-Thermo^{MD} comme mesure de la température corporelle ont pu être recensées en utilisant les mots clefs « Bio-Thermo », « LifeChip » et « Destron Fearing ». Concernant la micropuce IPTT-300^{MD}, 37 études ont été recensées en utilisant les mots clefs « IPTT-300 » et « temperature ».

Aucun prix n'est affiché sur les sites internet des deux marques. Cependant la puce proposée par Destron Fearing^{MD} est en vente en ligne au prix de 13\$ sur www.sagebrushtags.com et 21\$ sur www.useful-items.com. Et celle proposée par BMDS^{MD} est au prix de 99\$ sur www.ebay.com.

f. Détection du poulinage (100-110)

Bien que la parturition soit rapide et souvent sans complication dans l'espèce équine, le poulinage reste un événement à risque pour la jument et le poulain (111,112). C'est pourquoi il existe de nombreux dispositifs permettant de surveiller les juments gestantes et détecter le début de la mise-bas.

En utilisant les mots clefs « poulinage » et « alarme » en français et en anglais dans le moteur de recherche Google^{MD}, il a été possible de répertorier 11 produits différents qui semblent actuellement en vente. Leurs caractéristiques sont présentés dans le Tableau VII. Les deux types de systèmes les plus communément utilisés pour détecter la parturition s'intéressent soit à la position de la jument (debout versus décubitus), soit à l'apposition des lèvres vulvaires.

Dans le premier cas, les systèmes reposent sur le fait que le décubitus latéral est un comportement assez rare chez les juments au repos et se trouve être un signe évocateur de contraction abdominale. Le capteur se place soit sur le licol, soit sur un surfaix installé autour du thorax. Le détecteur BirthAlarm^{MD} dispose d'un réglage particulier pour les juments ayant pour habitude de se coucher en décubitus latéral en

temps normal : ils se basent sur le principe qu'une unique contraction abdominale dure moins de 2,5 minutes ainsi l'alarme ne se déclenche que si le décubitus est inférieur à 3 minutes. Cependant les juments peuvent se coucher brièvement pour d'autres raisons ou ne pas s'installer en décubitus latéral pour pouliner. Ces dispositifs engendrent donc des faux positifs et des faux négatifs. Ils sont cependant non-invasifs, sécuritaires et permettent un monitorage à distance ce qui les rend avantageux.

Le second type de système consiste en un capteur équipé de deux aimants qui se fixent de part et d'autre de la vulve grâce à une suture et qui déclenche une alarme lorsque le contact entre les deux lèvres est perdu (Figure 23). Ce dispositif s'installe 2 semaines environ avant la date prévue de poulinage. Il peut engendrer des faux négatifs lorsque les deux lèvres restent apposées lors des dystocies où aucune partie du poulain ne fait protrusion à travers la vulve. Cependant, il a été observé que même dans ces cas, l'amnios ou parfois les contractions abdominales pouvaient être suffisants pour déconnecter les deux aimants et ainsi déclencher une alarme (113).



Figure 23: Sigloo^{MD}, un détecteur de poulinage avec aimants sur les lèvres vulvaires (102)

Un des systèmes répertoriés s'intéresse à la quantité de sueur de la jument, assumant que l'effort provoqué par les contractions lors du poulinage entraînera une sudation importante. Il s'agit de la technologie proposée par SafeMate^{MD}.

La plupart des dispositifs fonctionnent de la manière suivante pour prévenir l'utilisateur : le signe de début de la parturition est détecté par le capteur qui émet un signal radio, un récepteur se trouvant à portée dans l'écurie va alors émettre une alarme sonore et peut appeler ou envoyer un message sur plusieurs téléphones. Ce dernier service est la plupart du temps optionnel, moyennant un coût supplémentaire et l'achat d'une carte téléphonique. Concernant les dispositifs s'intéressant à la position de la jument il est possible d'utiliser un smartphone comme capteur. C'est ce que propose l'entreprise FoalApp^{MD}: l'application doit être téléchargée sur 2 téléphones intelligents, l'un servira de « moniteur » et se placera dans une pochette de sécurité sur le licol (Figure 24) et l'autre servira à recevoir les notifications (téléphone personnel). Les téléphones sont actuellement équipés d'accéléromètre permettant de servir de capteur pour l'application. Lorsqu'un décubitus latéral est détecté le téléphone émetteur envoie via le réseau mobile ou Wi-Fi une notification sur le téléphone receveur et déclenchera la prise d'une vidéo automatiquement. Depuis l'application sur le téléphone « receveur », un service de vidéo à la demande est également disponible (Figure 24). Le téléchargement de l'application est gratuit et la pochette de sécurité coûte 49,95\$. Il est possible de louer pour 199\$ un kit de poulinage pour 4 semaines comprenant un téléphone intelligent équipé de l'application FoalAppMD et une pochette de sécurité.



Figure 24: Le système FoalApp^{MD} (téléphone receveur à gauche et émetteur à droite) (110)

L'autre système utilisant la technologie des téléphones intelligents est Smart Foal^{MD}: l'émetteur est un accéléromètre et va transmettre des informations en continu à l'utilisateur via une application mobile : décubitus, roulade, repos, etc (Figure 25). Ce système nécessite une base radio ayant accès à un réseau Wi-Fi qui permettra le transfert de toutes les données en temps réel à un serveur internet. Si le réseau n'est pas disponible, la base émettra une alerte en cas de détection du poulinage par le capteur. L'ensemble coûte 660\$ ou 414,86€ pour équiper une jument.

Ces deux dernières solutions n'apparaissent pas dans la littérature suite à une recherche dans Google Scholar^{MD}, PubMed^{MD} et ScienceDirect^{MD} en utilisant les mots clefs : « FoalApp » et « Smart Foal ». De même les recherches avec les mots clefs « foaling », « alarm », «detection », « horse parturition » ne permet pas de trouver de la littérature concernant la précision des différents dispositifs présentés dans ce paragraphe.



Figure 25: Application Smart Foal^{MD} (109)

Tableau VII: Caractéristiques de 11 dispositifs de détection du poulinage

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Caracteristiques	-		
Nom du produit	Technologie utilisée	Système d'alarme	Position du capteur	Autre/Prix
Foal App ^{MD} (110)	Smartphone (détection de la position, vidéo)	Réseau télé- phonique ou Wi-Fi → notifi- cation sur l'ap- plication	Tête (licol)	-Location 4 semaines d'un kit avec smart- phone inclus 199\$ -Poche de protection smartphone : 49,95\$ -déclenchement d'une vidéo en cas d'alerte -Vidéo à la demande
Smart Foal ^{MD} (109)	Accéléromètre (dé- tection de la posi- tion)	Onde radio → récepteur→ message télé- phonique ou notifications sur une application mobile	Tête (licol)	660\$ - Application mobile montrant l'activité de la jument en temps réel
SafeMate ^{MD} (100)	Capteur d'humidité (détection de la quantité de sueur)	Onde radio → récepteur → appel pagette	Sur le poitrail dans un collier de chasse	639,20-774,4€ (selon options) - Sensibilité paramètrable
FoalGuard ^{MD} (101)	Accéléromètre (dé- tection de la posi- tion)	Onde radio → récepteur → ap- pel télépho- nique	Tête (licol)	722-1171\$ (selon options)
Sigloo ^{MD} (102)	Aimants (détection de l'ouverture de la vulve)	Onde radio → récepteur → ap- pel télépho- nique	Lèvres vulvaires	1290€ ou à louer 10€/jour
BreederAlert ^{MD} (103)	Accéléromètre (dé- tection de la posi- tion)	Onde radio → récepteur → ap- pel télépho- nique ou pa- gette	Tête (licol)	375-465\$ (selon options)
MagicBreed ^{MD} (104)	Accéléromètre (dé- tection de la posi- tion)	Onde radio → récepteur → ap- pel télépho- nique ou pa- gette	Tête (licol)	Non indiqué
BirthAlarm ^{MD} (105)	Accéléromètre (dé- tection de la posi- tion)	Capteur/trans- metteur → ap- pel télépho- nique	Thorax (surfaix) ou tête (licol)	options)
Sisteck ^{MD} (106)	Aimants (détection de l'ouverture de la vulve)	Onde radio → récepteur→ ap- pel télépho- nique	Lèvres vulvaires	1500£ ou 850£ pour 6 mois de location (2 transmetteurs)
EquiFone ^{MD} (107)	Accéléromètre (dé- tection de la posi- tion)	Onde radio → récepteur → ap- pel télépho- nique ou pa- gette	Tête (licol)	295-345\$ (selon options)
Happy Foaling ^{MD} (108)	Accéléromètre (détection de la position) +/- vidéo Ou Aimant	Onde radio → récepteur→ ap- pel télépho- nique	Thorax (surfaix) ou lèvres vulvaires	550-1590€ (selon options) - Déclenchement d'une vidéo en cas d'alerte (en option)

Parmi tous ces objets, seul le système Equinosis^{MD} avec Lameness Locator^{MD} compte un vétérinaire dans les membres de l'entreprise, dans ce cas créateur du dispositif et fondateur.

Il existe d'autres outils que l'on pourrait classer comme étant des outils de la télémédecine mais ils sont à l'heure actuelle déjà couramment utilisés dans la profession vétérinaire. Par exemple, les endoscopies embarquées des chevaux permettent d'observer en temps réel et à distance le pharynx. Ce genre de technologie nécessite une connexion Bluetooth longue portée et un appareil permettant de lire la vidéo. On peut également citer les systèmes de Holter qui permettent de récolter un tracé ECG sur 24h afin d'observer et de quantifier d'éventuelles anomalies cardiaques. Le tracé peut être enregistré sur une carte mémoire et visualisé a posteriori ou le dispositif devra être connecté en Bluetooth à un ordinateur afin de retransmettre le tracé en direct. Ces dispositifs étant déjà bien connus, nous ne les développerons pas plus.

EN BREF

Pour le praticien vétérinaire équin, les **nouvelles technologies** ont ouvert plusieurs **possibilités**: une gestion facilitée de la structure par des **logiciels spécialisés**, une **téléexpertise** et des **formations continues en ligne** (Wizzvet^{MD}), des **aides** pour la pratique des médecins généralistes (applications Veterinary Advances^{MD}), des outils de plus en plus mobiles facilitant leur **utilisation sur le terrain**, l'acquisition de **nouvelles données** (ex : Lameness Locator^{MD}), **l'amélioration** des mesures effectuées (stéthoscopes électroniques) et une **télésurveillance** facilitée (dispositifs de poulinage). Tous ces aspects s'ils ne sont pas exploités, devraient cependant **être connus du praticien** afin qu'il puisse faire face aux nouvelles attentes de ses clients.

III)Objets connectés pour le monitorage du cheval

lci seront développés les objets connectés permettant de monitorer différents paramètres du cheval sans que le lien avec sa santé ne soit directement applicable.

- a. Objets connectés pour le monitorage du cheval au repos
- (i) Bodys et ceintures connectés

Trackener (114)

La société Trackener^{MD} a été créée en septembre 2015 en Grande-Bretagne par deux français : Pauline Issard et Jeremie Charlet. Il s'agit d'un ensemble de capteurs réunis dans un boitier qui se place au niveau du sternum des chevaux grâce à un body ou une attache de sangle (Figure 26), un deuxième capteur peut être placé sous le tapis pour détecter le pouls. Ce boitier permet une surveillance des chevaux au repos et une analyse des séances de travail. Ici nous allons uniquement développer l'analyse du cheval au repos.

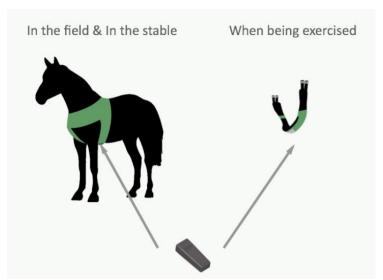


Figure 26: Mise en place du capteur Trackener^{MD} (114)

Le boitier permettrait de suivre l'activité du cheval et ses mouvements notamment grâce à un GPS et un accéléromètre. En analysant ces données au quotidien, l'entreprise déclare pouvoir détecter précocement des signes d'affections comme les coliques et ainsi envoyer des messages d'alerte. Cependant il est précisé que le dispositif ne peut garantir la détection de 100% des coliques. Le capteur est censé apprendre du comportement de chaque cheval afin de s'adapter aux particularités individuelles, nécessitant l'acquisition d'un nombre minimal de données au départ. Les informations récoltées par le capteur sont transmises au détenteur via une application mobile également disponible sur ordinateur (Figure 27). Cette application regroupe : un onglet sur l'activité du cheval, un onglet sur les séances d'exercice, et un calendrier qui enregistre notamment un historique de santé. Une couverture réseau 2G ou 3G est nécessaire pour que ces informations soient transmises, sans quoi elles sont stockées puis envoyées une fois le réseau retrouvé. Trackener^{MD} précise que tous les réseaux téléphones sont utilisables par le boitier sur le territoire européen, sans frais supplémentaires.



Figure 27: Application mobile Trackener^{MD} (114)

Pour développer leur solution, l'équipe de Trackener^{MD} a mis en place des partenariats scientifiques, notamment avec l'université de Liverpool et deux cliniques vétérinaire équine situées en Grande-Bretagne : Chiltern Equine Clinic et Farr & Pursey Equine Veterinary Services. L'entreprise met en avant son partenariat avec la profession vétérinaire puisque sur le site apparaît la mention « développé avec et recommandé par des vétérinaires ».

Le produit n'est pas directement disponible mais il est possible de pré-commander le kit Trackener Life sans capteur de pouls au prix de 224€ et d'un abonnement de 10€ par mois pour avoir accès à l'application. Le début des livraisons est prévu pour mars 2018.

Horse Cape MD (115)

Horse Cape^{MD} est une entreprise Lilloise créée par Rémy Thellier et Philippine Lauzanne. Le dispositif consiste en une ceinture permettant de suivre plusieurs paramètres concernant le bien-être du cheval au repos notamment son activité, ses mouvements, et sa sudation. Le site web de l'entreprise ne permet pas d'avoir beaucoup d'informations quant aux paramètres mesurés, aux moyens de consulter les données, ou à l'analyse de celles-ci. Il est seulement précisé que des alertes pourront être envoyées sur le téléphone du détenteur du cheval en cas de comportement anormal, comme une colique ou une mise bas. De plus un des slogans de l'entreprise est « soyez prêt pour l'avenir du suivi vétérinaire », il est donc difficile de comprendre en quoi consiste exactement le produit et à qui il est destiné. Il est mentionné qu'un des objectifs de l'entreprise est de développer des « solutions vétérinaires, fiables et inoffensives » et que pour cela ils ont un partenariat avec le Dr Claire Scicluna, exerçant dans le domaine équin, et Equ'Institut^{MD} une entreprise organisant des formations vétérinaires présentée sur le site comme « une association française de recherche vétérinaire ». L'entreprise a également été labelisée par le pôle de compétitivité Hippolia^{MD}. Le produit n'est actuellement ni en vente, ni en pré-commande.

 $Ekily^{MD}$ (116)

Ekily^{MD} est une filiale de l'entreprise française Ido-data^{MD} créée en août 2016 et comptant 4 associés : le président Yannick Tocquet et 3 directeurs généraux Antonin Carlesso, Thomas Creveaux et Clara Fresnel. L'entreprise a développé une application qui se connecte au cardiofréquencemètres de la marque Polar^{MD} pour évaluer la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC). La ceinture équipée du cardiofréquencemètre se place autour du thorax du cheval et envoie par bluetooth les données récoltées à l'application Ekily^{MD}. Les mesures sont effectuées pendant 5 minutes, ensuite l'application donne un niveau d'état de forme du cheval via un point sur un graphique (Figure 28). Le but de l'application est de moduler l'exercice physique demandé en fonction de l'état de forme du cheval et de le préparer au mieux aux compétitions.

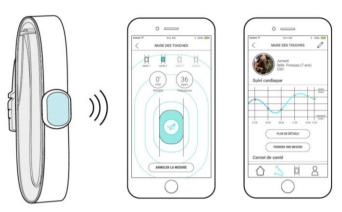


Figure 28 : Dispositif de mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque par Ekily^{MD} (116)

Leur algorithme évalue la variabilité de l'intervalle entre les ondes R consécutives sur l'ECG, ce qui revient à évaluer l'amplitude des fluctuations de la fréquence cardiaque. Ils utilisent le calcul du RMSSD (Root Mean Square of the Successive Differences ou Racine Carrée de la Moyenne des Différences au Carré entre les Intervalles) suivant :

 $RMSSD = \sqrt{[\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^{n-1} (RR_i - RR_{i+1})^2]}$, où n est le nombre d'ondes R récoltées en 5 minutes et RR_i l'intervalle entre les ondes R à l'instant i et i+1. Ils expliquent que plus cette valeur est grande, plus le cheval est en bon état de forme. Un brevet a été déposé pour leur méthode de mesure et leur algorithme.

Plusieurs études dans le domaine humain ont montré que ce calcul permettait d'avoir une idée globale de l'état de fatigue d'un individu et que ce paramètre pouvait être utile dans le diagnostic du surentraînement. En effet, il reflète essentiellement le tonus vagal du cœur, plus ce dernier est important plus le cœur est performant et une baisse de ce tonus est souvent lié à un état de fatigue. Cependant, l'activité sympathique influence également le tonus vagal, donc sa variation ne dépend pas que de l'état de fatigue de l'individu mais aussi d'autres paramètres comme son état de stress (117) (118).

L'entreprise a été labelisée par le pôle de compétitivité d'Hippolia^{MD}. Aucun autre partenariat scientifique n'a été mis en avant sur leur site web. Le produit est actuellement disponible à la vente, le cardiofréquencemètre n'est pas vendu par Ekily^{MD} mais par Polar^{MD} au prix de 109,90€ et l'accès à l'application est possible sous trois forfaits différents (Figure 29) : la version bêta test gratuite, Ekily Liberté^{MD} à 14,99€ par mois sans engagement, ou Ekily Performance^{MD} à 119,99€/an soit environ 10€/mois avec engagement d'un an. Les abonnements Ekily Performance^{MD} et Ekily Liberté^{MD} donnent accès aux mêmes informations. Il est à noter que l'application peut fonctionner en bluetooth avec n'importe quel cardiofréquencemètre récoltant comme donnée l'intervalle de temps entre les ondes R.



Figure 29: Les abonnements à l'application Ekily^{MD} (116)

Enhorse^{MD} (119)

Enhorse^{MD} est une filiale de l'entreprise Autrichienne Tracer Systems GmbH^{MD}, créée par Heinrich Eichenauer et Nikolaus Kelpp en octobre 2015. Le dispositif proposé par la société est très similaire à celui d'Ekily^{MD}. En effet, un boitier placé sur une ceinture s'applique sur le thorax du cheval (Figure 30), permettant de récolter des données concernant l'ECG et la fréquence respiratoire. Les données sont ensuite envoyées sur une application compatible mobile et tablette.



Figure 30: Mise en place du boitier enhorse^{MD} (119)

Ils expliquent que leur application donne des informations sur la santé du cheval et son état de forme en analysant sa fréquence respiratoire mais également la variabilité de sa fréquence cardiaque (VFC). L'analyse conjointe des fréquences respiratoires et cardiaques permettrait de connaître le niveau de stress du cheval. En fonction de celuici et de la VFC, l'application établit le niveau d'entraînement maximum recommandé. Concernant la VFC, il n'est pas expliqué s'il s'agit du calcul du RMSSD, comme Ekily^{MD}, ou d'un autre calcul. L'application est pensée pour l'entraînement des chevaux de course le but étant d'adapter le travail à l'état de forme du cheval, suivre son niveau de stress, et suivre ses performances.

Ne sachant pas quelle méthode de mesure est utilisée par enhorse^{MD}, nous ne pouvons pas faire de remarque quant à la fiabilité des données récoltées.

Enhorse^{MD} compte parmi ses partenaires le docteur vétérinaire René Van Den Hoven diplômé du collège européen de médecine interne équine (ECEIM). Leur produit n'est ni en vente, ni en pré-commande sur le site commercial. Cependant il est stipulé que la mise sur le marché du produit a été effectuée en début d'année 2017 et que plus de 100 clients situés en Suède, Irelande, Grande-Bretagne, et Autriche l'ont acheté.

(ii) Couvertures connectées

 $Arioneo^{MD}$ (120)

Arioneo^{MD} est une entreprise française créée en 2014 par Erwan Mellerio et Valentin Rapin. Le premier produit proposé par la marque est le capteur Orscana^{MD} de la gamme Care. Il se fixe sous une couverture et rélève les données de température, d'humidité et de mouvement (temps passé allongé et degré d'activité). L'objectif est de conseiller le détenteur sur la couverture la mieux adaptée aux besoins du cheval et de pouvoir visualiser l'activité de ce dernier au cours de la journée.



Figure 31: L'application Orscana^{MD} par Arioneo^{MD} (120)

Les données sont récoltées par Bluetooth sur une application, nécessitant une certaine proximité entre le cheval et le détenteur (maximum 30 mètres). L'activité est présentée sous la forme de pourcentages dans un diagramme circulaire selon quatre niveaux (allongé/calme/actif/très actif) (Figure 31), l'humidité et la température peuvent être affichées sous la forme d'un graphique pour le suivi sur plusieurs jours. A chaque

fois que l'application est sollicitée, des conseils sont donnés concernant l'épaisseur des couvertures à mettre au cheval. Il est à noter que lorsqu'on enregistre un animal sur l'application, sont demandés : son âge, sa race, son activité, s'il a un poil d'hiver, d'été ou s'il est tondu. De plus, l'intervalle correspondant à la zone de confort thermique est modulable par l'utilisateur. Les prévisions météorologiques sont également disponibles sur l'interface et permettent d'adapter les conseils aux conditions climatiques futures. Les données peuvent être partagées avec d'autres utilisateurs de l'application. Dans une interview Guillaume Dubois, directeur scientifique d'Arioneo^{MD}, explique qu'Orscana^{MD} a « l'ambition de devenir un outil vétérinaire, grâce à l'exploitation des données numériques anonymes remontées par les utilisateurs et à la mesure de nouveaux paramètres physiologiques. » Il estime que ce travail prendra un à deux ans et qu'ils le feront valider par « des laboratoires de recherche français spécialisés. » (121)

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur leur site web. Le produit est disponible à la vente en ligne au prix de 99€ et l'application est téléchargeable gratuitement.

 $Horsepal^{MD}(122)$

Horsepal^{MD} est un produit proposé par Horseware^{MD}, une entreprise irlandaise dans la vente de couverture pour chevaux créée par Tom et Carol MacGuinness en 1985. Un boitier se fixe sous la couverture et permet de récolter des données de température et d'humidité, il peut enregistrer jusqu'à trois jours consécutifs. Pour récolter les informations il faut télécharger une application mobile et se trouver dans un périmètre de 30 pieds du boitier pour pouvoir s'y connecter par bluetooth. L'application les analyse et donne des conseils en matière d'épaisseur de couverture en relation avec les prévisions météorologiques sur trois jours. Ces préconisations peuvent être partagées à d'autres utilisateurs. Il est également possible d'ajouter sur cette application les rendez-vous prévus pour le cheval : maréchal ferrant, vétérinaire, etc.



Figure 32: Application Horsepal^{MD} de Horseware^{MD} (122)

La Figure 32 présente la forme sous laquelle les informations sont données par l'application Horsepal^{MD} : les valeurs à un instant donné ou un graphique des dernières données récoltés.

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site web. Le produit n'est pas directement en vente sur le site de Horsepal^{MD} mais est offert sur le site <u>www.doversaddlery.com</u> à l'achat d'une couverture Rambo^{MD} de Horseware^{MD}. Il est mentionné que le dispositif est d'une valeur d'environ 60\$.

Stable 400 connectée par Decathlon^{MD}(123) (124)

Decathlon^{MD}, est une entreprise française créée en 1980, qui propose du matériel de sport et notamment une gamme destinée à la pratique de l'équitation : Fouganza^{MD}. La marque propose une couverture (Stable 400^{MD} connectée) et un body (Be connected^{MD}) équipés d'un capteur de température et d'humidité se liant à une application mobile par bluetooth comme ses homologues de chez Arioneo^{MD} et Horseware^{MD}(Figure 33).



Figure 33: Body et couverture connectés de Fouganza^{MD} (124)

Sur l'application il est nécessaire de rentrer différentes informations concernant le cheval : âge, sexe, race, poil d'hiver ou d'été, tondu ou non tondu. La zone de confort thermique est alors automatiquement adaptée à ces informations sur l'application. Le couplage s'effectuant par bluetooth, l'utilisateur doit se trouver dans un périmètre de 30 mètres autour du capteur pour pouvoir récupérer les données. L'affichage se fait sous la forme d'un nuage de points associé à deux droites correspondant aux limites haute et basse de la zone de confort thermique du cheval. Le capteur peut enregistrer jusqu'à 10 jours de données sans être couplé avec l'application. Il est également possible de choisir la fréquence à laquelle les valeurs sont relevées.

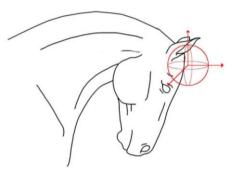
Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site. Les deux produits sont visualisables sur le site de la marque, le body est proposé à 50€ et la couverture à 89,99€ mais aucun des deux n'est disponible à la vente en ligne.

(iii) Licols connectés

 $HoofStep^{MD}$ (125)

HoofStep est une start-up suédoise co-fondée par Per-Eric Olsson, Priscilla Olsson, Mattias Lindström, et Karl Forssman. Aucune information sur la date de création de l'entreprise n'est disponible.

Le dispositif proposé s'apparente à un licol connecté, avec un capteur positionné au niveau frontal (Figure 34). Ce capteur relève des informations concernant la position géographique du cheval mais aussi la position relative de sa tête. Grâce à ces deux informations, leurs algorithmes en déduisent des comportements. De plus, l'emplacement du capteur leur permettrait de détecter la mastication et l'abreuvement.



RICH BEHAVIORAL DATA

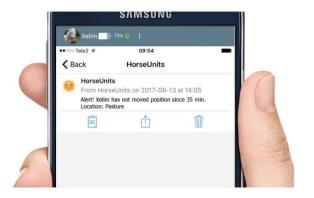
Figure 34: Position du capteur dans le dispositif proposé par HoofStep^{MD} (125)

D'après leur site internet, ils sont capables de donner :

- La localisation géographique du cheval, l'historique de ses déplacements et les zones les plus visitées,
- Les statistiques de l'énergie dépensée, de la distance parcourue, et des allures utilisées,
- L'analyse du comportement mettant en évidence le stress ou les comportements sociaux anormaux si plusieurs chevaux sont équipés,
- L'analyse de l'abreuvement, de l'appétit, de la démarche et des mouvements (couché, debout, actif, repos, etc) qui permettrait de détecter des affections précocement.

L'acquisition d'une quantité suffisante de données est nécessaire pour en déduire les valeurs normales et les comportements normaux de base de chaque cheval corrélé avec un modèle comportemental général pour tous les chevaux. Par la suite, chaque donnée est analysée et si elle sort du modèle pré-établi, une alerte sera envoyée sur le téléphone de l'utilisateur ou sur l'application mobile aussi disponible sur internet (Figure 35).





ONLINE CONNECTION WITH YOUR HORSE

INSTANT ALARMS

Figure 35: Dispositif proposé par HoofStep^{MD} et leur système d'alarme (125)

Ce système est décrit comme assez sensible pour détecter précocement les affections suivantes : colique, épisode de fourbure, boiterie, et blessure importante. Le poulinage et les stéréotypies liées au stress seraient également détectées. L'équipe de HoofStep^{MD} a la particularité d'être très précise sur les affections qu'elle veut prévenir, là où les autres compagnies restent plus vagues et mentionnent principalement les coliques et le poulinage (Horsecape^{MD}, NightWatch^{MD}, etc).

Il est mentionné que le produit est développé en partenariat avec des chercheurs et des vétérinaires mais aucun nom n'est clairement mis en évidence. Le produit n'est ni en vente, ni en pré-commande.

 $NightWatch^{MD}$ de $Protequus^{MD}$ (126) (127)

NightWatch^{MD} est le premier produit proposé par l'entreprise américaine Protequus LLC^{MD} créée par Jeffrey R. Schab en 2013. Il s'agit d'un licol ou d'un collier dont la têtière est équipée de plusieurs capteurs permettant de monitorer plusieurs paramètres de la santé du cheval (Figure 36).



Figure 36: Licol connecté NightWatch^{MD} de Proteguus LLC^{MD} (126)

De nombreux capteurs sont présents dans ce dispositif, on y trouve notamment : un GPS, un radar à bande ultra-large ou ultra-wideband implusive radar (UWB-IR), un accéléromètre 3 axes, un gyroscope 3 axes, un magnétomètre 3 axes, un baromètre,

un capteur de luminosité, un capteur thermique infra-rouge et un microphone (128). Ces outils permettent de récolter de nombreuses données qui une fois analysées donnent des informations concernant :

- La fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire grâce au UWB-IR,
 - La localisation géographique grâce au GPS,
- Sa situation en dehors ou en dedans grâce au capteur de luminosité.
- Le comportement grâce à l'accéléromètre, au gyroscope, au magnétomètre, au baromètre et au GPS.

Le comportement du cheval sera classé comme normal ou anormal et précisé : se couche, se relève, roulade, se tape l'abdomen, gratte du membre antérieur, etc. Ces informations sont ensuite conjointement analysées avec l'heure de la journée, les paramètres vitaux (fréquence cardiaque et fréquence respiratoire), les habitudes du cheval et les facteurs de risque pré-existant afin de déterminer un index de détresse équine ou Equine Distress Index^{MD} (EDI^{MD}). Cet index a été développé par la société Proteguus^{MD} et consiste en une échelle de 1 à 10 qui évaluerait objectivement le degré de détresse des chevaux. Plus la valeur de l'EDI est basse plus l'état du cheval est considéré comme bon. L'utilisateur définit le seuil minimal de l'EDI à partir duquel une alerte lui sera envoyée. Il peut également choisir de définir différentes fourchettes de valeurs pour 5 des paramètres obtenus (fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, temps passé couché, nombre de roulade, fréquence de levé/couché) en dehors desquelles une alerte sera envoyée. Les alertes peuvent être envoyées à 4 autres personnes en plus de l'utilisateur. L'état du cheval est également directement visible sur le licol puisque un voyant sera vert s'il est considéré normal ou rouge s'il est considéré en détresse (Figure 37).



Figure 37: Voyant lumineux du licol NigtWatch permettant de connaître l'état de détresse du cheval (126)

Toutes les informations récoltées par le dispositif sont visualisables sur l'application accessible avec un smartphone, une tablette ou un ordinateur (Figure 38). Les historiques de tous les paramètres ainsi que des alertes envoyées sont disponibles.



Figure 38: Application associée au licol NightWatch^{MD} (126)

L'équipe de Protequus^{MD} met en avant deux partenariats scientifiques pour le produit NightWatch^{MD} : l'AAEP et le Rochester Institute of Technology (RIT). Ils ont également des partenariats avec des événements équestres ou associations de sports équestres.



Figure 39: Prix et abonnement pour le dispositif NightWatch^{MD} (126)

Le produit sera en vente à partir du 26 avril 2018 pour les États-Unis et le Canada, à l'heure actuelle il est possible de s'inscrire sur une liste d'attente afin de recevoir des informations concernant sa disponibilité. Cependant les prix et modalités de payement sont déjà affichés (Figure 39) :

- L'achat du dispositif pour 849,99\$ (licol et collier) ou 799,99\$ (licol seul) ou 699,99\$ (collier seul),
- La souscription à un abonnement pour 329,99\$ l'année ou 29,99\$ par mois avec un engagement d'un an.

(iv) Seaux et abreuvoirs connectés

Blue intelligence^{MD} de La Buvette^{MD} (129)

La Buvette^{MD} est une entreprise française fondée en 1957 dans le domaine de la fabrication et la vente de machines agricoles et forestières, spécialisée dans les solutions d'abreuvement pour animaux. Ils ont créé Blue Intelligence^{MD} qui est un abreuvoir connecté. Le système est inclus dans les abreuvoirs NORMANDY Blue Intelligence^{MD} mais peut également être adapté à des abreuvoirs à tube ou à palette déjà installés comme par exemple le modèle FORSTAL^{MD}. La solution comporte (Figure 40) :

- Dans l'abreuvoir lui-même : un débitmètre électronique, des voyants lumineux et une électrovanne en option,
- Dans l'écurie : un ou plusieurs boitiers de gestion (maximum 5 abreuvoirs par boitier), une ou plusieurs station météo, un ou plusieurs boitiers Wi-Fi.
 - Le logiciel Blue Intelligence sur sa tablette-PC fournie.

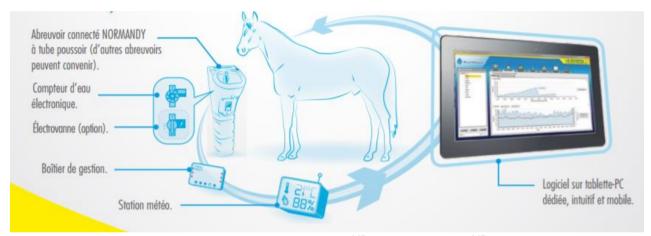


Figure 40: Le système Blue Intelligence^{MD} de La Buvette^{MD} (129)

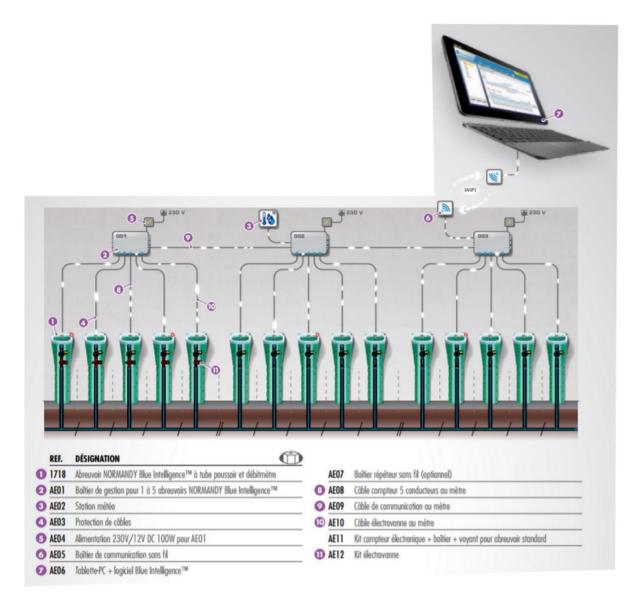
Les données récoltées sont envoyées sur le module informatique en temps réel par connexion filaire puis transmise au logiciel Blue Intelligence^{MD} sur la tablette grâce à un réseau WiFi. Les boitiers de gestion nécessitent d'être branchés sur une alimentation électrique 230 volts pour fonctionner. L'utilisateur peut retrouver sur le logiciel plusieurs informations concernant l'abreuvement du cheval (Figure 41) : le nombre de prises de boisson, leurs dates et heures, leurs durées et les quantités d'eau consommées. Les conditions d'ambiance (température et hygrométrie) de l'écurie sont affichées en temps réel et peuvent être mises en relation avec les données d'abreuvement. Toutes ces données sont stockées dans un historique qui permet de connaître les habitudes de chaque cheval. De plus, cette base de données peut être exportée. Un agenda permet de définir quand un cheval est absent pour éviter de comptabiliser une période anormale sans abreuvement qui fausserait les statistiques. Des rendezvous et autres informations peuvent être ajoutées à ce dernier. Il est possible de limiter l'accès en eau d'un cheval en définissant une quantité maximum disponible pour un certain laps de temps. Cette limitation est permise par l'électrovanne disponible en option. Cette fonction a principalement été créée pour éviter une consommation d'eau trop importante avant un entraînement. Dans le cas d'une consommation anormale d'eau une alerte sera envoyée sur le logiciel et un voyant rouge s'allumera sur l'abreuvoir.



Figure 41: Application Blue Intelligence^{MD} sur tablette fournie (129)

Une des particularités est que l'entreprise propose une installation à la carte pour chaque écurie avec le déplacement d'un technicien en amont de l'installation afin de définir les longueurs des différents câbles nécessaires, le nombre de boitiers de gestion et leurs emplacements, l'accès au réseau électrique 230 volts, la mise hors gel des abreuvoirs, et l'emplacement du module informatique fourni avec le système. La Figure 42 présente un exemple d'installation avec les différents composants du système. Chaque écurie aura sa propre installation en fonction des options choisies, du nombre d'abreuvoirs équipés et de l'emplacement du réseau électrique. Cette étape peut sembler compliquée pour les gérants d'établissement et présente certainement un coût non négligeable.

Aucun prix n'est affiché sur leur site internet mais il est possible de les contacter pour étudier un projet. Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site internet. Cependant la solution Blue Intelligence^{MD} a fait l'objet d'un brevet, elle a été labélisée par le pôle de compétitivité Hippolia^{MD} et elle a obtenu le trophée de l'innovation « Coup de Cœur Cheval Pratique » lors du Salon du Cheval de Paris 2015.



<u>Figure 42: Exemple d'installation des abreuvoirs équipés du système Blue Intelligence^{MD} de La Buvette^{MD} (129)</u>

Stablesense^{MD} (130)

Stablesense^{MD} est une entreprise américaine créée en 2015 par Caitlin Parrucci initialement nommée Equine Design. L'entreprise propose un dispositif connecté qui s'adapte à un seau quelconque permettant de suivre en temps réel la consommation en eau des chevaux. Comme on peut le voir sur la Figure 43 le capteur se place entre la zone d'accroche et l'anse du seau. Il ne peut pas s'appliquer à un seau posé au sol, ni à un abreuvoir. Aucune limite de taille ou de poids pour le seau n'est indiquée sur leur site internet.



Figure 43: Dispositif de surveillance de l'abreuvement proposé par Stablesense^{MD}
(130)

Les informations récoltées par le capteur sont analysées puis apparaissent sur l'application mobile associée : nombre de prises de boisson, leurs date et heure, la quantité d'eau bue par prise et le total sur la journée. Ces données sont accessibles en tout temps, le système de communication n'est pas précisé mais ne semble donc pas être le bluetooth. En cas de valeur anormale une alerte sera envoyée sur l'application. Peu d'informations sont disponibles quant aux caractéristiques du produit sur le site internet. Il est précisé que le produit est actuellement en phase de prototypage et de test.

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial. Cette solution n'est ni en vente, ni en pré-commande.

(v) Abreuvoirs et distributeurs automatiques de fourrage et de concentrés

Il existe de nombreuses marques proposant des distributeurs automatiques de fourrages et/ou de concentrés, on peut notamment citer: Stable Grazer^{MD}, Multifeed^{MD}, iFEED^{MD}, SimpleFeeder^{MD}, Equine Easy Feeder^{MD}, Quick Feed^{MD}, Horse Stop^{MD}, easyhorse^{MD}. Ces distributeurs sont individuels ou collectifs, dans ce cas ils nécessitent une reconnaissance des chevaux via leur puce électronique ou un autre système d'identification. Selon la marque ils peuvent être programmés sur place ou à distance. Aucun d'entre eux ne permet de savoir si le cheval a mangé la totalité de sa ration. La marque Groom-Robot^{MD} se démarque par le fait qu'elle propose une mangeoire entièrement robotisée (131). Groom-Robot^{MD} est née de l'association des groupes Equipona^{MD}, fondé en 2010 en Belgique par Peter Vanherck, d'une part et Zuchetti Centro Sistemi SpA, créé il y a 30 ans et spécialisé dans la robotique à usage domestique et industriel, d'autre part.

Cette mangeoire robotisée permet :

- la définition de la fréquence et de la quantité de fourrages et de concentrés délivrés sur la journée,
- la vaporisation automatique d'eau sur le foin pour un dépoussiérage partiel,
 - l'enregistrement de la quantité d'eau consommée sur la journée,
- l'envoi automatique d'un rapport sous forme de sms sur le téléphone du propriétaire (distribution correcte des aliments et consommation d'eau journalière),
 - l'envoi d'alerte en cas de dysfonctionnement de la mangeoire,
 - le contrôle du rationnement à distance,
- le contrôle visuel à distance grâce à une caméra vidéo fournie en option (nécessite une connexion internet 3G).

La mangeoire Groom-Robot^{MD} est présentée dans la Figure 44. Le distributeur de foin se situe dans le compartiment de droite, la partie arrondie coulisse et découvre le fourrage lorsqu'un repas est programmé. L'abreuvoir connecté se situe dans la partie de gauche juste au-dessus du distributeur automatique de concentré.



Figure 44: Mangeoire robotisée Groom-Robot^{MD} (131)

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial. Le produit est actuellement en vente en Belgique, au Pays-bas, au Luxembourg, en France, en Allemagne, en Suisse et un délai de livraison de 3 mois est annoncé. Le prix du dispositif est de 5 800€ sans taxe et sans transport, auquel s'ajoute 370€ pour l'utilisation des données mobiles (envoi des alertes et des comptes-rendus par sms), et 560€ pour l'installation de panneaux solaires.

(vi) Station météo connectée pour écurie par Ekily^{MD} (116)

Ekily^{MD} est une filiale de l'entreprise française Ido-data^{MD} créée en août 2016 et comptant 4 associés : le président Yannick Tocquet et 3 directeurs généraux Antonin Carlesso, Thomas Creveaux et Clara Fresnel. Le premier produit proposé est une application permettant d'analyser l'ECG du cheval afin d'en déduire son état de forme avant une séance d'exercice. Elle est présentée dans la partie B-I-c-(i). Sur leur site internet dans la section « les services en cours de développement » on découvre un boitier qui récolte les données de température et d'humidité de l'écurie (Figure 45). La fréquence de mise à jour des informations est modulée par l'utilisateur, de même il doit

paramétrer des « seuils de bien-être » qui une fois dépassés entraîneront le déclenchement d'une alerte sur l'application. Toutes ces informations sont enregistrées dans un historique et sont disponibles à distance grâce au réseau Sigfox.



Figure 45: Station météo connectée par Ekily^{MD} (116)

Ekily prévoit également de créer :

- un service de « coaching personnalisé » en regroupant les informations relatives à l'entraînement du cheval et de ses performances,
 - un « carnet de santé connecté ».

L'objectif est de rassembler toutes les informations concernant la santé du cheval sur une seule application mobile. Les produits présentés dans cette partie ne sont à l'heure actuelle ni en vente, ni en précommande. Aucun partenariat scientifique n'a été mis en avant sur le site commercial d'Ekily^{MD}.

b. Objets connectés pour le monitorage du cheval au travail

(i) Sangles connectées

Equisense^{MD} (132)

Equisense est une entreprise française créée en septembre 2015 par Benoit Blancher et Idriss Boumaza. L'entreprise propose le pack Equisense Motion^{MD} constitué d'un boitier se plaçant sous la sangle, de ses attaches et d'une application mobile. Le boitier permet d'analyser plusieurs paramètres des séances de travail et de détecter l'apparition d'une asymétrie qui pourrait être interprétée comme une boiterie. Il est notamment composé d'un accéléromètre 3 axes, d'un gyromètre 3 axes et d'un magnétomètre 3 axes. En utilisation régulière, c'est-à-dire « quelques séances par semaine », la batterie doit perdurer pendant 2 mois. Les données récoltés pendant une séance sont transmises à l'application mobile par bluetooth puis analysées pour en déduire (Figure 46) :

- La symétrie au trot notée sur une échelle de 1 à 10,
- Le temps passé à chaque main en pourcentage,
- Le rebond déterminé par l'élévation du corps du cheval mesurée en centimètre,
- Le nombre de transitions entre les allures et le temps passé à chaque allure,
 - Le nombre de sauts effectués,
- La cadence exprimée en foulées par minute à chaque allure et la régularité de celle-ci,
- Le découpage de la séance en phases de détente, de travail intensif et de retour au calme.

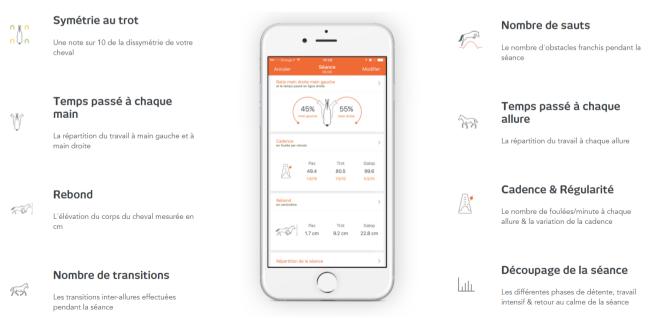


Figure 46: Application Equisense Motion^{MD} (132)

Les données sont accessibles en direct à condition que le téléphone se situe à proximité du boitier, c'est-à-dire sur le cavalier. Sinon elles peuvent être visualisées après la séance (une fois la connexion bluetooth réalisée) et un historique des performances pour chaque paramètre est disponible sous forme de graphique (Figure 47).



Figure 47: Exemple du suivi du rebond sur plusieurs séances avec l'application Equisense Motion^{MD} (132)

Cette fonctionnalité est intéressante pour suivre l'évolution des progrès effectués. De plus, l'analyse de la symétrie du trot pourrait permettre de détecter l'apparition d'une boiterie avec la diminution brusque de la note sur 10 par rapport aux autres séances. Cependant l'application ne déclenche pas automatiquement d'alerte en cas d'anomalie. Associé à ces analyses, l'application propose chaque mois de nouveaux programmes d'entraînement adaptés aux objectifs de l'utilisateur.

Le dispositif est actuellement en vente au prix de 395€, comprenant (Figure 48) : le boitier et les attaches sur la sangle. Il est également possible de commander des sangles ou des bavettes sur demande au prix de 200€ dans lesquelles le boitier peut directement s'intégrer. Le téléchargement de l'application mobile est gratuit et possible en trois langues : anglais, français et allemand. D'après leur site commercial Equisense^{MD} recense plus de 2500 abonnés à travers le monde : Europe, Amérique, Australie, etc.



Figure 48: L'offre Equisense Motion^{MD} (132)

Des partenariats scientifiques sont mis en avant sur le site commercial notamment avec deux docteurs vétérinaires français :

- Dr Philippe Benoit, vétérinaire de l'équipe de France de CSO entre 1993 et 2000 et ancien membre du comité vétérinaire de la Fédération Equestre Internationale (FEI),
- Dr Emmanuelle Van Erck, vétérinaire en médecine du sport et consultante pour la FEI.

Trois universités sont présentées comme des partenaires scientifiques : l'Université de Technologie de Compiègne, l'Université d'Utrecht, et l'Université Suédoise des Sciences Agricoles. L'entreprise Royal Horse^{MD}, figurant parmi les leaders mondiaux de l'alimentation équine, est également citée. De plus, le Dr Marine Slove est la responsable produit d'Equisense^{MD}.

Equimetre par Arioneo^{MD} (133)

Arioneo^{MD} est une entreprise française créée en 2014 par Erwan Mellerio et Valentin Rapin. Le premier produit proposé par la marque est le capteur Orscana^{MD} de la gamme Care qui se place sous une couverture pour le suivi du cheval au repos. Il est présenté dans la partie B-I-c-(ii). Ici nous allons nous intéresser à leur seconde offre qui s'intéresse aux performances des chevaux de course à l'entraînement : la gamme Performance avec le dispositif Equimetre^{MD}. Il s'agit d'un capteur qui se fixe sur la sangle et qui permet de suivre plusieurs paramètres durant l'entraînement du cheval de course (Figure 49) :

- La fréquence cardiaque,
- La vitesse en kilomètres par heure,
- La distance parcourue,
- L'amplitude des foulées,
- La cadence en foulées par seconde,
- La régularité en pourcentage de variation de la cadence,
- Le temps de récupération.



Figure 49: Le capteur Equimetre^{MD} par Arioneo^{MD} (133)

Aucune information n'est disponible sur le site commercial quant à la composition du boitier et aux moyens de mesure des paramètres présentés ci-dessus. Ces données sont disponibles sur l'application associée au dispositif et sont analysées pour en déduire :

- des indicateurs de performance comme la V200 qui correspond à la vitesse du cheval lorsque sa fréquence cardiaque est de 200 battements par minute,
- des aptitudes sur les différents terrains (herbe, sable, etc), leur état (léger, collant, souple, etc) et selon la météo (froid et sec, chaud et humide, etc),
 - l'intensité de l'entraînement,
 - l'énergie de propulsion,
 - la main avec les meilleures performances,
 - les temps intermédiaires.

Chaque cheval possède une fiche détaillée avec un historique de chaque entraînement et le suivi des performances au cours des mois. Les gains cumulés, les résultats des courses courues, et les engagements des courses à venir sont également visualisables. Les différents chevaux connectés à Equimetre peuvent être comparés. Afin d'identifier le cheval au moment de l'utilisation il suffit de scanner la micropuce d'identification de l'animal avec le boitier et les données seront directement stockées dans sa fiche personnelle. Il est possible pour l'entraîneur de communiquer avec le ou les propriétaires du cheval via l'application. En effet les propriétaires ont accès à une version épurée de celle-ci avec des comptes-rendus succincts de chaque entraînement, le ressenti de l'entraîneur, des notes vocales, des photos, des vidéos, les engagements des courses à venir, et les résultats des courses courues.

Aucun partenariat scientifique n'est clairement mis en avant sur le site commercial. Le produit est disponible à la vente mais il faut contacter l'entreprise pour avoir plus d'informations quant au prix du dispositif.

Exalt Training^{MD} par le groupe Paris-Turf^{MD} (134) (135)

Le groupe Paris-Turf^{MD} est une entreprise française créée en 2005, spécialisée dans l'analyse des résultats des courses de chevaux PMU^{MD} (Pari Mutuel Urbain). En 2015, le groupe commande à l'entreprise Souffl^{MD}, une solution de « tracking sportif dédiée aux entraîneurs de chevaux de course ». Souffl^{MD} est une société française de design et d'innovation créée en 2014 par Nicolas Baumgartner, Arnaud Carrette, et Fabien Fumeron. Leur expertise a permis de développer le produit Exalt Training^{MD} pour le groupe Paris-Turf^{MD} après environ deux ans de travail. Ce produit consiste en un boitier comportant des capteurs et se glissant dans un protège sangle spécifique (Figure 50).



Figure 50: Design du capteur Exalt Training^{MD} (134)

Le boitier ainsi placé permet de récolter les données suivantes (Figure 51) :

- la fréquence cardiaque,
- la vitesse en kilomètres par heure,
- l'amplitude des foulées en mètres,
- la fréquence des foulées (en nombre par seconde),
- la vitesse atteinte à la fréquence cardiaque de 200 battements par minute (V200),
 - la distance parcourue,
 - le tracé effectué.

Ces données sont envoyées sur une application disponible sur téléphone intelligent ou tablette. Les technologies utilisées pour récolter les différentes mesures ne sont pas détaillées sur le site commercial. De même, le moyen de communication entre le boitier installé sur le cheval et l'interface mobile n'est pas précisé. Une fois les données analysées, des informations concernant la performance du cheval sont consultables en direct ou sous forme d'historique de chaque entraînement. Il est possible de synchroniser l'enregistrement des données avec une capture vidéo. La visualisation des indices de performances sur plusieurs mois est également disponible afin d'évaluer la progression du cheval. Des alertes sont émises lors du dépassement de certains seuils afin de limiter les risques du surentraînement. Ces seuils ne sont pas explicités par la marque.



Figure 51: Application Exalt Training^{MD} (134)

L'application permet de programmer des objectifs à atteindre pour les différents indices de performance et les chevaux qui ont été équipés par le dispositif peuvent être comparés entre eux.

Sur le site commercial aucun partenariat scientifique n'est mis en avant. De même, le produit ne semble actuellement ni en vente ni en précommande.

Le groupe Paris-Turf^{MD} a développé en parallèle le boitier Exalt Racing^{MD} conçu pour équiper les chevaux participants à une course. Une fois les chevaux équipés, il est possible de connaître pour chacun d'entre eux : son classement provisoire, sa position géographique, sa vitesse instantanée, sa vitesse moyenne, son accélération, la distance qu'il reste à parcourir, la distance parcourue, l'écart entre les chevaux, et les temps intermédiaires. Cette technologie a été développée pour fournir plus d'informations aux parieurs et peut être utilisée lors d'émission télévisée, de retransmission en direct sur internet, ou de rediffusion des courses. Ce service est proposé aux hippodromes et peut-être installé de manière ponctuelle. Ce produit n'a pas été développé pour suivre la santé des chevaux mais plutôt pour valoriser leurs performances.

Seaver^{MD} (136)

Seaver^{MD} est une entreprise française créée en mai 2016 par Mohamed Antar et Pierre-Yves Lalo. Le produit proposé consiste en une sangle connectée composée notamment d'électrodes brevetées pour capter l'ECG et d'une centrale inertielle pour l'analyse des mouvements. L'acquisition se fait durant une séance d'exercice avec la sangle. Les données sont ensuite transmises à une application mobile par bluetooth et une fois analysées l'utilisateur retrouvera les informations suivantes (Figure 52):

- fréquence cardiaque, énergie dépensée, intervalle d'intensité de l'exercice et zone de surentraînement,
- symétrie au trot (en pourcentage), cadence (en foulées par minute), le rebond (en centimètre), le temps passé à chaque main et chaque allure,

- la hauteurs des sauts effectués, le nombre de foulées entre chaque saut,
- vitesse maximum et moyenne (en km/h), tracé du parcours, distance parcourue (en km).



Figure 52: Les fonctionnalités de la sangle connectée par Seaver^{MD} (136)

Certaines informations peuvent-être plus détaillées, par exemple le temps passé à chaque main est visualisable pour chaque allure ou globalement, la valeur moyenne du rebond est donné mais aussi disponible pour chaque allure, etc.

Chaque cheval possède une fiche personnalisée avec son nom, son âge, son sexe, son tempérament, sa taille et son poids. Un historique de chaque entraînement est disponible. Des exemples d'exercices sont proposés sur l'application aux utilisateurs afin d'améliorer certaines des performances de leur cheval. Ce dispositif et l'application mobile associée s'adresse aux cavaliers pratiquant le saut d'obstacle, le dressage et le cross principalement. Un des objectifs mis en avant par l'entreprise outre l'amélioration des performances est la détection d'anomalie comme les boiteries. Comme pour la sangle d'Equisense^{MD}, aucune alerte n'est envoyée en cas d'asymétrie plus importante au trot. L'utilisateur doit analyser ces informations lui-même pour en tirer ses propres conclusions.

Aucun partenariat scientifique n'est clairement mis en évidence sur le site commercial. L'application est téléchargeable gratuitement et le dispositif est disponible en précommande sous trois formes (Figure 53) :

- la sangle à 549€ (A),
- la sangle courte pour le dressage à 549€ (B),
- la sangle bavette à 599€ (C),
- la sangle bavette courte pour le cross à 599€ (D),
- le protège-sangle à 329€ qui s'adapte à une sangle classique (E).

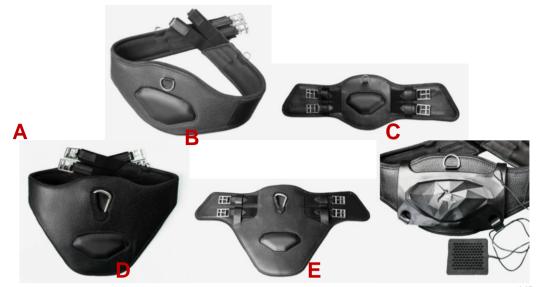


Figure 53: Les différents formats de la sangle connectée proposés par Seaver^{MD} (136)

L'achat comprend également une base sans fil pour recharger la sangle, un connecteur USB pour une recharge sur secteur, un ruban permettant de mesurer le cheval et d'évaluer son poids. Les premières livraisons sont prévues pour avril 2018 selon le site commercial.

equin ITy^{MD} (137)

Fine Equinity^{MD} a été créée au Royaume-Uni en 2011 par Keith Hanson, Kevin Russon, Michael Craig Morgan et Steven Leslie Catchpole. Actuellement, les directeurs sont Tim Jones et Paul Shields. Leur produit equinITy est un dispositif (Figure 54, A) qui se place dans un protège sangle (Figure 54, B) et permet de récupérer les données suivantes :

- distance parcourue, temps intermédiaires, cadence (en nombre de foulées par furlong), amplitude des foulées, vitesse, localisation, et altitude,
 - fréquence cardiaque, et temps de récupération.



Figure 54: Dispositif equinITy^{MD} (137)

Ces données sont transmises à une application accessible sur ordinateur, téléphone intelligent et tablette grâce à une connexion internet. Toutes les informations sont visualisables en direct ou en « playback » après l'entraînement et sont présentées sous forme brute ou de graphique. Sur la Figure 55, nous pouvons voir que le tracé du cheval durant la période d'acquisition des données est représenté sur une carte et qu'il

est possible d'obtenir les valeurs des paramètres évalués à chaque instant ou d'obtenir un graphique montrant leur évolution au cours de l'entraînement. L'application permet de comparer les performances d'un même cheval au cours d'une période donnée, ou de comparer plusieurs chevaux entre eux. Il est également possible de prendre une vidéo ou une photo du cheval pendant l'exercice et d'y superposer les données en temps réel. Ces informations peuvent également être données oralement et en direct à l'utilisateur de l'application ou au cavalier grâce à un casque audio bluetooth connecté au dispositif présent dans le protège sangle.



Figure 55: Application equinITy^{MD} (137)

L'application permet de rechercher dans une banque de données en ligne les courses à venir dans lesquelles les chevaux à l'entraînement pourraient être engagés. Un outil de gestion des entraînements est également disponible. Il est précisé que leur produit a été développé au plus près des entraîneurs de chevaux de course de galop mais qu'il peut également se transposer à d'autres disciplines comme le saut d'obstacle, le dressage, le polo, la course de trot et l'endurance.

Aucun partenariat scientifique n'est présenté sur le site commercial d'equinITy^{MD}. Le témoignage du Dr Lesley E Young, spécialiste en cardiologie vétérinaire est mis en avant mais ne donne aucune information critique vis-à-vis de ce dispositif en particulier.

Le pack « equinITy Equine Performance Monitoring Kit » est actuellement à la vente en promotion au prix de 345£ au lieu de 1 050 £. Il comprend un dispositif de monitorage, un protège sangle, un cardiofréquencemètre, un câble de recharge USB, un guide d'installation, un accès de 12 mois à l'application web, l'utilisation de données mobiles pendant 12 mois (dans les limites d'usage), une assistance technique valable 12 mois, et un logiciel client de gestion du dispositif. Ce dernier est uniquement compatible avec les ordinateurs ayant un système d'exploitation Windows^{MD} (version XP ou plus récent). Dès la deuxième année il faut acheter un nouvel abonnement pour continuer à utiliser le dispositif, au prix de 145£ au lieu de 600£. Il comprend un accès

de 12 mois à l'application web, l'utilisation de données mobiles pendant 12 mois (dans les limites d'usage), une assistance technique et les mises à jour du logiciel client valables 12 mois. Il est possible d'acheter uniquement le cardiofréquencemètre au prix de 95£ et le protège sangle au prix de 55£. Les prix affichés n'inclus pas les taxes en vigueur.

Waook^{MD} de Equi-test^{MD} (138)

Equi-test est une société française spécialisé dans la recherche en physiologie équine créée en mai 2006 par le Dr Claire Leleu, vétérinaire et docteur en Sciences et Techniques des Activités Physique et Sportives. Ses principales missions sont : la recherche appliquée en nutrition et physiologie équines, le suivi sportif d'athlètes équins, et la formation en physiologie équine. Cette structure a été agréée par la Direction de la Recherche et de l'Innovation, et à ce titre peut bénéficier des droits au crédit d'impôts en ce qui concerne les dépenses pour la réalisation de recherche et de développement.

Depuis janvier 2017, Equi-test^{MD} utilise le système Polar Team Pro^{MD}, permettant de récolter des données cardiaques et biomécaniques simultanément. Deux études sont en cours et seront prochainement publiées : « validation du Polar Team Pro pour l'analyse de la variabilité cardiaque chez le cheval » et la « validation du Polar Team Pro pour l'analyse des variables de la foulée chez le Trotteur ». Parallèlement Equitest^{MD} a annoncé en février 2018 développer le nouveau produit Waook^{MD}, qui associe la mesure des données cardiaques et biomécaniques par la ceinture thoracique équine Polar^{MD} à une application permettant de les analyser (Figure 56).



Figure 56: La solution Waook^{MD} proposée par Equi-test^{MD} (138)

Très peu d'informations sont disponibles sur le site commercial concernant les fonctionnalités du produit. Seules les informations présentes sur la Figure 56 sont connues : fréquence cardiaque, vitesse, et détermination du profil lactique. Cette dernière donnée ne semble disponible qu'avec l'utilisation du lactatomètre de EKF^{MD} : Lactate Scout +^{MD}. Les données devraient être disponibles en direct ou sous la forme d'un historique. Jusqu'à 8 chevaux peuvent être équipés et analysés en simultané, les variables peuvent être comparées inter ou intra-individus.

Ce produit est présenté comme un outil médico-sportif pour les entraîneurs et les vétérinaires.

Equi-test^{MD} est soutenu par le pôle en recherche et innovation équine, Hippolia^{MD}. Le Dr Leleu est co-auteur de plusieurs articles concernant la physiologie équine notamment dans *The Equine Veterinary Journal*. Lors de la Journée de la Recherche Equine le 15 mars 2018, elle animera une conférence s'intitulant « Cheval de course de précision, état des lieux et perspectives ».

Le produit n'est pas en vente, ni en précommande. Son lancement était prévu pour mars 2018.

Les cardiofréquencemètres de Polar^{MD} (139)

La société Polar^{MD} créée en 1976 en Finlande par Seppo Säynäjäkangas est spécialisée dans la fabrication de moniteurs de fréquence cardiaque portables. Le premier brevet a été déposé en 1979 et le tout premier moniteur de fréquence cardiaque sans fil au monde a été lancé en 1982. Bien que l'entreprise soit avant tout spécialisée dans le monitorage humain, une gamme de capteurs a été développée pour l'espèce équine. Certaines de leur technologies sont utilisées par d'autres entreprises comme Ekily^{MD} ou encore Equi-test^{MD}.



Figure 57: Les 3 offres de cardiofréquencemètres Polar^{MD} pour chevaux (139)

La gamme équine comporte 3 offres distinctes :

- Le kit Equine Healthcheck (Figure 57, A) comprend le cardiofréquencemètre Polar FT1 et l'émetteur avec barre Polar T31. L'émetteur se place sur le thorax du cheval, la fréquence cardiaque mesurée s'affiche sur le cardiofréquencemètre. Ce dispositif permet uniquement d'obtenir la fréquence cardiaque du cheval à l'arrêt, c'est-à-dire au repos ou en récupération. Il est en vente au prix de 89,99\$.
- La ceinture avec émetteur de fréquence cardiaque Equine H7^{MD} (Figure 57, B) comprend une ceinture en tissu qui s'adapte au thorax du cheval et qui

permet d'installer l'émetteur de fréquence cardiaque. Ce dispositif peut être utilisé pendant un travail ou à l'arrêt. Ce kit ne comporte pas de cardiofréquencemètre, ainsi il faut utiliser l'application Polar Beat^{MD} ou toute autre application d'entraînement compatible pour obtenir les données. Il est en vente au prix de 155,99\$.

• L'émetteur de fréquence cardiaque à électrodes Equine H7^{MD} (Figure 57, C) comprend des électrodes en plastique qui se placent directement sur la peau du cheval et restent en place lors de l'entraînement, même au galop. Ce dispositif peut être utilisé pendant un travail ou à l'arrêt. Ce kit ne comporte pas de cardiofréquencemètre, ainsi il faut utiliser l'application Polar Beat^{MD} ou toute autre application d'entraînement compatible pour obtenir les données. Il est en vente au prix de 142,99\$.

Les émetteurs Polar^{MD} peuvent transmettre les valeurs mesurées grâce à une connexion bluetooth. Ainsi il n'est pas possible de recueillir les données en temps réel à distance du cheval. Il est possible de n'acheter que la ceinture pour émetteur de fréquence cardiaque au prix de 109,99\$ et les électrodes au prix de 89,99\$, cependant sans émetteur aucune valeur de fréquence cardiaque ne peut être mesurée.

Polar^{MD} offre un logiciel d'entraînement gratuit qui propose d'obtenir un journal d'entraînement pour y inscrire les exercices effectués par le cheval et programmer les futures séances, analyser les résultats après l'entraînement et rédiger des rapports. Sur le site commercial, il n'est pas précisé quelles sont les données affichées sur l'application.

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial mais de nombreuses études utilisent les cardiofréquencemètre PolarMD pour évaluer la fréquence cardiaque des chevaux (140-143). De plus, deux études ont montré une bonne corrélation entre les mesures de fréquence cardiaque faites en parallèle avec un ECG portable : le coefficient de corrélation était de 0.98 pour Evans et Rose en 1986 (modèle PEH 100^{MD}) et 0,99 pour Ille et al. en 2014 (modèle S810i^{MD}) (144) (145). En 2010, Parker et al, ont émis des réserves quant à l'utilisation du dispositif Polar S810i^{MD} pour la mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC). Cependant, Ille et al. en 2014 ont établi que la VFC pouvait être évaluée de manière interchangeable avec l'ECG Televet^{MD} ou un système Polar^{MD} sur le cheval au repos. D'autres études sont nécessaires pour faire un tel constat sur le cheval en exercice. Il est également à noter que les cardiofréquencemètres Polar^{MD} sont régulièrement modifiés et que les modèles peuvent différer les uns des autres. Même si le savoir-faire de l'entreprise reste le même, il est nécessaire d'émettre des réserves quant à la généralisation des résultats cités ci-dessus à tous les modèles de cardiofréquencemètres équins Polar^{MD}.

(ii) Selles connectées

Selle connectée 2GS et application iJump^{MD} de CWD^{MD} (146)

CWD^{MD} est une entreprise française créée en 1998 par Laurent Duray, spécialisée dans la fabrication et la vente de selles et de matériel d'équitation. En 2013, la marque devient LIM Group^{MD} (Leather In Motion) et rachète le sellier concurrent Devoucoux^{MD}. Le groupe est le leader mondial de la selle d'équitation haute gamme sur mesure. En octobre 2017, la marque a officiellement présenté sa première selle connectée 2GS^{MD}

associée à son application mobile iJump^{MD} créées pour le travail du cheval à l'obstacle. Comme on peut le voir sur la Figure 58, la selle est équipée d'un capteur au niveau du pommeau permettant d'évaluer la locomotion du cheval. Aucune précision n'est donnée sur le site commercial concernant le type de capteur utilisé (accéléromètre, baromètre, etc). Les données récoltées sont transmises au téléphone intelligent ou à la tablette équipée de l'application iJump^{MD} grâce à une antenne Bluetooth Low Energy (BLE). Il est précisé que la portée de l'antenne est suffisante pour ne pas avoir à porter son téléphone sur soi pendant l'exercice. Les données sont également automatiquement enregistrées dans le nuage informatique (Cloud). Leur analyse permet d'obtenir plusieurs informations concernant la locomotion du cheval sur un parcours d'obstacle :

- Longueur des foulées,
- Vitesse des foulées,
- Régularité des foulées,
- Rebond du galop,
- Equilibre de l'abord (vitesse constante, croissante ou décroissante),
 - Symétrie de la poussée du saut,
- Nombre de foulée de reprise du galop après la réception d'un obstacle.

Le lancement d'un enregistrement se fait grâce à l'application et peut-être synchronisé à une acquisition vidéo afin de pouvoir visualiser les différentes informations simultanément au parcours (Figure 59).

Il est nécessaire de créer un compte utilisateur sur l'application et de définir les profils cavaliers et chevaux. Pour chaque mesure on pourra préciser : le cavalier, le cheval, la date, l'événement. Il est ensuite possible d'afficher les performances point par point de chaque cavalier et de chaque cheval ou de revisualiser l'analyse de chaque parcours.

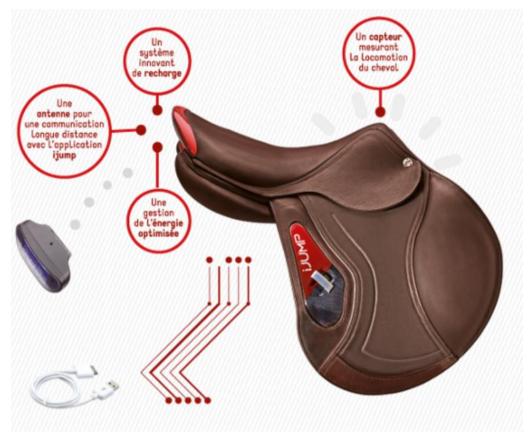


Figure 58: Première selle connectée par CWD^{MD} (146)



Figure 59: Synchronisation des données avec la vidéo grâce à iJump^{MD} (146)

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial cependant depuis février 2017 il existe le projet CWD-VetLab en partenariat avec l'unité 957 Biomécanique et Pathologie Locomotrice du Cheval du CIRALE (BPLC-CIRALE). Le thème fondateur de ce projet est « l'équitation connectée » et l'objectif est de créer de

nouveaux outils de mesure connectés insérés dans les produits de sellerie et de harnachement. Un des buts est de faire avancer les connaissances scientifiques en recueillant des données à grande échelle. Ce projet appartient à un programme de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et est labellisé par le pôle de compétitivité de la Filière Equine Hippolia^{MD}(147).

Aucun prix n'est affiché pour l'achat d'une selle iJump sur le site commercial, il est seulement possible de contacter l'entreprise pour effectuer un essai lors d'un événement sportif. D'après la page facebook^{MD} « CWD – Recherche & Développement », la selle peut être louée avec un contrat de 3 ans comprenant les mises à jour de l'application.

La sangle CWD iPulse by Arioneo^{MD} (148)

Le 25 novembre 2017, à l'occasion du Salon du Cheval de Paris, CWD^{MD} a présenté la sangle iPulse by Arioneo^{MD} (Figure 60) qui se combine à leur selle connectée et à l'application iJump^{MD} et permet d'évaluer la fréquence cardiaque du cheval à l'exercice grâce aux électrodes brevetées de la start-up Arioneo^{MD}. La sangle transmet les données à l'application par bluetooth.



Figure 60: La sangle connectée de CWD^{MD} iPulse by Arioneo^{MD} (148)

La synchronisation avec une capture vidéo se fait similairement aux données relatives à la locomotion transmises par la selle connectée. Il est ainsi possible d'afficher la fréquence cardiaque parallèlement aux données mentionnées ci-dessus.

CWD^{MD} et Arioneo^{MD} ont conjointement présenté le concept de la sangle iPulse^{MD} et de la selle iJump^{MD} au « Consumer Electronics Show » (CES) de 2018 à Las Vegas. La sangle ne semble pas disponible à la vente ni sur le site commercial d'Arioneo^{MD} ni sur celui de CWD^{MD}. Il n'est pas précisé si celle-ci peut être louée conjointement à la selle connectée iJump^{MD}.

(iii) Tapis et protections connectés ESTRIDE^{MD}(149)

Stride Innovations Limited^{MD} est une entreprise britannique créée en février 2015 par Olivier James Heron, Oli Monks, Christian Cerra, et Michael Laurence Palmer. L'entreprise a été dissoute en février 2017 et refondée en juin 2017 par Poonam Arpan Bhatia et Arpan Niranjan Bhatia. Actuellement deux produits connectés sont présentés sur le site commercial : les protections ESTRIDE^{MD} Tracker et le tapis ESTRIDE^{MD} Harmony.

Il est possible d'équiper un cheval de 1 à 4 capteurs en plaçant les protections ESTRIDE^{MD} Trackers comme sur la Figure 61, au niveau des boulets avec le renforcement orienté vers l'extérieur. Du fait de leur position, elles ne permettent pas de protéger le membre des chocs. Il est précisé que leur système d'attache leur permet d'être placées au-dessus de n'importe quelle autre protection. Le dispositif a initialement été créé pour les chevaux d'endurance, de saut d'obstacle et de dressage mais peut être utilisé pour n'importe quelle discipline équestre.



Figure 61: Positionnement des protections connectées ESTRIDE^{MD} Tracker (149)

Chaque dispositif est composé comme sur la Figure 62 d'un noyau, d'un contrôleur et d'une protection. Le noyau (« node ») est le boitier contenant l'ensemble des capteurs, qui se glisse dans la logette prévue à cet effet dans le renflement externe de la protection. Il comprend notamment un capteur « 9-DOF» de haute précision qui est constitué d'un accéléromètre 3 axes, d'un gyroscope 3 axes et d'un magnétomètre 3 axes. Cette technologie est également présente dans le licol NightWatch^{MD} et la sangle Equisense Motion^{MD}. Les données récoltées sont transmises du noyau au contrôleur par des fréquences radios (RF) de longue portée (jusqu'à 1,2 km), puis transférées à l'application mobile sur le téléphone, la tablette ou l'ordinateur via bluetooth. Les données sont enregistrées sur une carte mémoire amovible dans le contrôleur et dans un nuage informatique via l'application mobile lorsqu'une connexion internet est disponible.

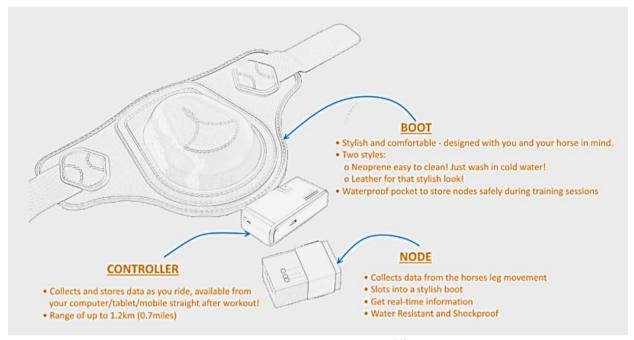


Figure 62: Protections connectées ESTRIDEMD Trackers (149)

Une fois analysées les données permettront, selon le nombre de noyaux placés sur le cheval, d'obtenir les informations suivantes :

- Avec un seul noyau :
 - Durée de l'entraînement,
- Le décompte des foulées et l'analyse de la démarche à chaque foulée,
- La quantité de calories dépensées au total et à chaque allure pour le cheval,
 - La quantité de calories dépensées par le cavalier,
 - La mesure des sauts d'obstacles.
- Avec deux noyaux :
 - Les informations précédentes,
 - La stabilité des antérieurs et des postérieurs,
- L'émission d'alerte en cas de changement de régularité des foulées,
- L'analyse « pré-achat » pour détecter des anomalies de locomotion avant l'achat.
- Avec 4 noyaux :
 - Les informations précédentes,
 - La régularité des foulées à chaque allure,
- Une aide à la rééducation après une blessure ou une boiterie en monitorant la locomotion.

Pour chaque couple cavalier-cheval il est possible de créer des objectifs à atteindre : nombre de calories à dépenser, durée d'entraînement, temps passé à chaque allure, efforts à l'obstacle.

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial. Le produit est actuellement en précommande et les délais de livraison sont estimées à 6 semaines. Il est possible de souscrire à 3 options différentes selon le nombre de noyaux achetés (Figure 63) :

- Achat d'un noyau, d'une protection, d'un contrôleur et d'un accès à l'application mobile pour 299£,
- Achat de deux noyaux, de deux protections, d'un contrôleur et d'un accès à l'application mobile pour 399£,
- Achat de quatre noyaux, de quatre protections, d'un contrôleur et d'un accès à l'application mobile pour 599£.

Les offres « Balance » et « Precision » donnent accès à deux packs pré-achats. Il est possible de payer des suppléments sur l'application mobile pour obtenir des services supplémentaires : les simulations statistiques permettant de prédire la stabilité et la régularité pour de futures échéances, l'ajout d'un cheval, la consommation de calories, des packs pré-achat supplémentaires. Il est précisé que l'utilisation des capteurs est limitée à 10 heures par semaine. Les frais ne sont débités que lorsque la commande est envoyée.



Figure 63: Les offres pour ESTRIDE^{MD} Trackers (149)

Le tapis ESTRIDE^{MD} Harmony

Le tapis proposé par ESTRIDE^{MD} est conçu pour mesurer la pression exercée par la selle et le cavalier sur le dos du cheval. Il peut notamment être utilisé pour évaluer la compatibilité entre une selle et un cheval ou l'analyse de la technique d'équitation. La composition du tapis est présentée sur la Figure 64. Une matrice de 920 capteurs de pression sur 63 cm² permet de retranscrire la répartition des forces sur le dos du cheval. Les données sont récoltées toutes les 200 millisecondes et enregistrées sur une carte mémoire puis transférées à une application mobile par bluetooth. Elles sont

ensuite enregistrées dans le nuage informatique si une connexion internet est disponible. La précision du dispositif est évaluée à plus ou moins 10%.

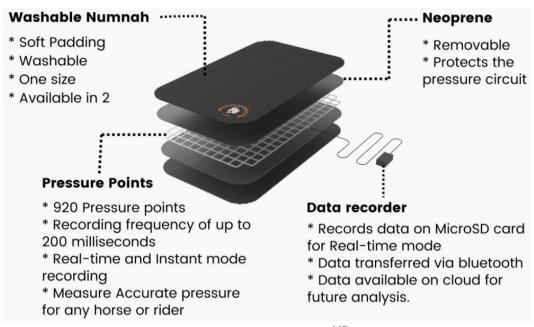


Figure 64: Tapis connecté ESTRIDE^{MD} Harmony (149)

Les données peuvent être récoltées à toutes les allures, et également durant une séance de saut d'obstacle. Elles sont transmises à l'application mobile par bluetooth. Une fois analysées, les informations disponibles sont : l'équilibre du cavalier, la présence de pressions irrégulières sous la selle, et leurs effets sur la locomotion si le tapis est associé à des protections ESTRIDE^{MD} Trackers. Les données peuvent être consultées en temps réel ou a posteriori, et acquises à l'arrêt ou en mouvement.

Aucun partenariat scientifique n'est mis en avant sur le site commercial. Le produit est actuellement disponible en précommande et les délais de livraison sont estimés à 12 semaines. Le prix d'introduction est de 489£ (Figure 65) et comprend toutes les options mentionnées ci-dessus. L'intégration avec les protections ESTRIDE^{MD} Trackers nécessite l'achat de celles-ci en surplus. Aucune limite d'utilisation par semaine n'est précisée.



Figure 65: Offre pour ESTRIDEMD Harmony (149)

(iv) Bonnets d'âne connectés HorseCom^{MD} (150)

HorseCom^{MD} est une entreprise française créée en juin 2015 et dirigée par Hugo Kadjas, Pascal Farrugia, et Thomas Pandraud. Le produit proposé par l'entreprise consiste en un bonnet pour cheval équipé d'écouteurs qui permettent de diffuser de la musique dans les oreilles du cheval mais ne l'empêche pas d'entendre son environnement extérieur car ils ne sont pas accolés à son canal auditif. Le volume et les fréquences utilisées ont été déterminés par le comité scientifique de HorseCom^{MD} d'après les données disponibles dans la littérature. Le cavalier est également équipé d'une oreillette audio et d'un microphone lui permettant d'entendre la même musique que son cheval et de communiquer avec lui. C'est une application mobile qui permet de sélectionner les musiques à diffuser. Le bonnet et l'oreillette sont connectés à l'application mobile par bluetooth et sont présentés dans la Figure 66.



Figure 66: Bonnet audio et oreillette HorseCom^{MD} (150)

Les musiques disponibles sur l'application sont adaptées à chaque type d'entraînement ou de besoin. Par exemple on peut trouver une musique pour une balade au pas en forêt, ou une musique avec un rythme plus rapide pour un travail plus physique. Des tutoriels sous forme de vidéo sont disponibles sur l'application et concernent des sujets variés.

Le produit est actuellement en vente (Figure 67) au prix de 249€ et d'un abonnement de un an à 29,90€ par mois soit un total de 607,80€. L'offre comprend le bonnet audio, l'oreillette, le microphone et l'accès illimité à l'application.

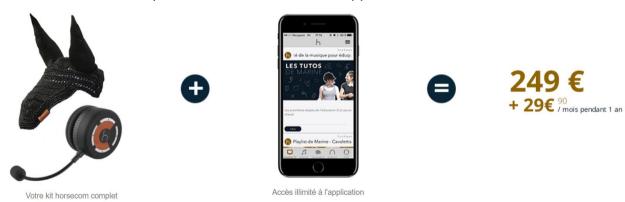


Figure 67: Offre HorseCom^{MD} (150)

HorseCom met en avant de nombreux partenariats scientifiques : l'IFCE, l'université de Caen et Basse-Normandie, l'université de Strasbourg, L'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (ENVA), les Haras Nationaux, le Groupe Mémoire et Plasticité Comportementale (GMPC), ethonova, le CNRS, l'Inserm, l'université Pierre et Marie Curie, le

Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP 6), et l'université de Paris Sud. Une thèse d'exercice vétérinaire est en cours à l'ENVA dont le titre provisoire est « étude préliminaire de l'effet de la musique classique diffusée via un bonnet audio sur le stress des chevaux lors d'examens radiographiques ». De plus le Dr Claire Neveux, vétérinaire et fondatrice de l'entreprise ethonova spécialisée dans la recherche en éthologie équine, a rédigé une étude sur les bienfaits du dispositif HorseCom^{MD}: « la musique adoucit les mœurs... et diminue le stress » (151). Deux groupes de 24 chevaux ont été soumis à deux événements stressants : un groupe dans un protocole de transport et l'autre dans un protocole de maréchalerie. Chaque cheval a été soumis à l'événement selon trois conditions différentes :

- avec le bonnet HorseCom^{MD} (diffusion d'une musique classique choisie pour sa constance rythmique, harmonique et sa prédicribilité),
- avec des bouchons d'oreilles en mousse Equifit^{MD},
- avec seulement un bonnet d'oreilles anti-mouche.

Dans chaque circonstance la fréquence cardiaque et la fréquence des comportements exprimant le stress ont été relevées. Les résultats de cette étude ont été présentés à la 42^{ème} Journée de la Recherche Equine en 2016 : pendant un transport les chevaux ont eu plus fréquemment les oreilles en avant et l'encolure en position haute, la récupération d'une fréquence cardiaque basale après un épisode de stress (transport ou maréchalerie) était plus rapide. Cependant aucune différence significative de fréquence cardiaque n'a été mise en évidence pendant le transport ou la maréchalerie. De plus aucune différence significative de fréquence de comportement de stress n'a été mise en évidence pendant la maréchalerie. Il est à noter qu'aucun signe d'inconfort ou de stress (secouer la tête, vigilance accrue) n'a été observé chez les chevaux équipé du bonnet HorseComMD. Ainsi il n'augmente pas le stress mais on ne peut pas conclure qu'il le réduit lors d'un événement ponctuel. Ces résultats sont en accord avec une pré-étude effectuée en 2014 sur une marche en main dans un environnement inconnu, et une étude en 2015 sur des chevaux au repos au box équipés du kit qui présentaient significativement plus de comportements à valence positive. Cette étude est une base intéressante pour comprendre les effets de la musique chez le cheval mais d'autres seraient nécessaires pour expliquer les mécanismes cognitifs. Trois autres études se sont intéressées aux effets relaxants de la musique classique diffusée dans l'écurie sur les paramètres comportementaux ou physiologiques des chevaux (152–154). Une musique classique possédant une constance rythmique, harmonique et une mélodie prédictible a été choisie pour l'étude de Wilson et al. en 2011 a montré de bons résultats. Chez l'Homme il a été prouvé que la musique influe sur le traitement des émotions (155).

Sur le site commercial, il est expliqué que les musiques sont organisées en fonction du niveau d'activité désiré selon les conseils du comité scientifique de HorseCom^{MD} mais ne précise pas si ceux-ci découlent d'études préliminaires ou d'observations empiriques. A l'heure actuelle, aucune étude n'a été publiée sur la relation entre les caractéristiques de la musique diffusée et les effets sur le comportement du cheval.

c. Projets non aboutis ou abandonnés

De nombreuses solutions connectées sont développées ou en développement pour suivre la santé ou la performance des chevaux. Chaque année ce sont plusieurs

« start-up » qui se créent. On peut notamment citer la création de 4 entreprises française dans les 4 dernières années : Arioneo^{MD} en 2014, Equisense^{MD} en 2015, Seaver^{MD} et Ekilv^{MD} en 2016. Cependant la période de recherche et développement est souvent longue et coûteuse afin de pouvoir commercialiser un produit fini qui répond aux attentes des utilisateurs. De plus, l'engouement pour les objets connectés peut s'estomper rapidement s'il ne s'agit que de gadgets ou si le produit ne répond pas aux attentes des utilisateurs. Ce marché est aujourd'hui encore très instable et s'il y a chaque année des entreprises qui se créent, il y a également chaque année des échecs. On peut notamment penser au capteur de couverture développé par Decathlon^{MD} qui ne semble plus en vente, au dispositif SeeHorse qui ne semble plus en développement (leur site internet étant non fonctionnel) (156), au body Equisense Care^{MD} qui a fait l'objet d'un « crowdfounding » sur la plateforme Kickstarter^{MD} mais n'a pas abouti à la commercialisation du produit. Pour ce dernier le Dr Marine Slove ,directrice produit chez Equisense^{MD}, explique dans un article que leur produit ne semblait pas adapté au marché et qu'ils ont décidé de le développer pour la pratique vétérinaire (157). Ainsi, ce marché est prometteur mais très instable. Pour se lancer dans la création d'une entreprise spécialisée dans les objets connectés équins, il convient de bien identifier les besoins et la concurrence.

Parmi tous les objets présentés dans cette partie, 9 sur 24 comptent officiellement au moins un vétérinaire dans l'équipe ou un partenariat avec une structure vétérinaire. Cependant, certains dévelopeurs peuvent avoir fait appel à des experts vétérinaires sans les mentionner sur leur site commercial. De plus, l'entreprise HoofStep^{MD} dit élaborer son produit en partenariat avec la profession sans citer de partenaire en particulier. L'équipe de NightWatch^{MD} quant à elle est en lien avec l'AAEP et CWD^{MD} (iJump^{MD}) a créée un laboratoire en partenariat avec le CIRALE. On peut également citer le Dr Leleu qui est créatrice du produit Waook^{MD}.

EN BREF

Le marché des **objets connectés** s'intéressant au cheval est en plein **déve-loppement**. Actuellement de nombreux dispositifs sont proposés pour l'étude et l'amélioration des performances du cheval athlète. On a pu en recenser 13 dans notre étude. D'autres s'attardent sur le **cheval au repos** et leurs **fonctionnalités** sont très **diverses** : mesure de l'abreuvement, analyse de l'activité, température et humidité sous une couverture, etc. Cependant, tous ces objets ne trouvent **pas facilement** des utilisateurs sur le **long terme**. Preuve en est, les différents projets n'ayant pas abouti.

<u>Partie C : Développement d'un outil connecté pour les chevaux : quels axes</u> choisir en fonction de l'état actuel de la e-santé équine en France ?

Nous avons vu que le marché des objets connectés est en pleine expansion pour le monde du cheval et que de nombreuses solutions sont actuellement disponibles ou en développement. Cependant en France, il semble qu'il y ait peu d'objets s'intéressant au cheval au repos. Ce marché semble encore ouvert et l'élaboration d'un dispositif permettant de surveiller la santé et le bien-être du cheval au box semble prometteur.

Dans ce qui suit nous présentons l'ébauche de développement d'un nouveau produit s'intéressant au bien-être du cheval.

I) Veille concurrentielle : le choix du monitorage du cheval au repos

Dans le cadre d'un projet de développement d'un objet connecté s'intéressant au cheval, il est nécessaire d'effectuer une veille concurrentielle afin de connaître les solutions actuellement disponibles sur le marché, leur stratégie commerciale, leur prix et leur réussite. Nous avons décidé de ne pas développer un produit qui aurait pour vocation de devenir un « dispositif médical vétérinaire » mais un objet connecté au service des propriétaires de chevaux.

a. Répartition des objets connectés pour chevaux en France

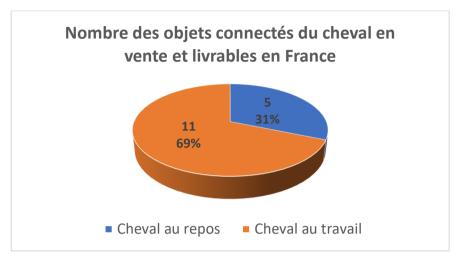
(i) Cheval au repos versus cheval au travail

Dans la précédente partie nous avons réalisé un inventaire aussi exhaustif que possible de tous les objets connectés s'intéressant au cheval. Ceux-ci concernaient le cheval soit au repos (CR) soit au travail (CT). Seul le produit Trackener^{MD} peut être utilisé sur CR et CT. Deux dispositifs sont à la frontière de ces deux catégories, il s'agit des produits permettant de connaître ponctuellement l'état de forme d'un cheval avant une séance de travail par l'analyse de la variabilité de sa fréquence cardiaque : Ekily^{MD} et enhorse^{MD}. Nous avons considéré dans notre étude qu'ils appartenaient à la catégorie des objets s'intéressant au CR. Nous avons pu recenser au total 26 objets connectés pour le cheval utilisables par le propriétaire dont 50% s'intéressent au CR et 50% au CT (Tableau VIII). Cependant parmi les objets connectés du CR, seuls 5 soit 38% d'entre eux sont actuellement en vente et livrables en France contre 85% des produits pour le CT (Tableau VIII).

Tableau VIII: Répartition des objets connectés du cheval

	Total recensé	Objets France	livrables	en
Cheval au repos	13 (50%)	5		
Cheval au travail	13 (50%)	11		

Ainsi, lorsque l'on s'intéresse uniquement aux produits actuellement disponibles en France pour les utilisateurs les proportions sont différentes : seuls 31% ou 5 objets connectés s'intéressent au CR (Figure 68).



<u>Figure 68: Répartition des objets connectés du cheval en vente et livrables en France</u>

Le secteur du CR semble alors plus ouvert actuellement en France.

(ii) Diversité des données récoltées sur le cheval au repos versus le cheval au travail

La diversité des objets pour le CR

Parmi les objets s'intéressant au CR, on a pu dénombrer 7 grandes catégories de données récoltées : le suivi de l'activité et des mouvements, le niveau de forme, la température cutanée et le niveau de sudation, l'abreuvement, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et les mesures environnementales (Tableau IX). Certains de ces dispositifs appartiennent à plusieurs catégories. Par exemple le capteur Orscana^{MD} permet de savoir quelle est la température et le niveau d'humidité sous la couverture portée par un cheval mais également de suivre son activité (120). De même, le licol connecté NightWatch^{MD} uniquement disponible aux Etats-Unis et au Canada, permet de suivre l'activité du cheval mais également ses fréquences cardiaque et respiratoire (126).

On peut noter que la majorité des objets s'intéressent au suivi de l'activité du cheval et à ses mouvements (Tableau IX). En effet, ces données peuvent être particulièrement intéressantes pour le propriétaire car une augmentation ou une diminution soudaine de l'activité peut être un signe de colique. De même, certains comportements comme les roulades successives, la position campée, la fixation de l'abdomen, le grattage au sol, le frappement de l'abdomen avec les postérieurs sont reconnus par les propriétaires comme étant des signes évocateurs de colique (158). Or les coliques sont une grande source d'inquiétude car il s'agit de la première cause de décès chez les chevaux (159). Concernant les objets disponibles en France qui s'y intéressent, seul le dispositif Trackener^{MD} peut émettre des alertes en temps réel en cas de comportement suspect (114). Le capteur Orscana^{MD} récolte les données par Bluetooth,

ainsi l'information n'est pas transmise si l'utilisateur se trouve à plus de 30 mètres du cheval (120). Le dispositif NightWatch^{MD} disponible aux Etats-Unis et au Canada, quant à lui apporte des informations complémentaires avec l'acquisition des fréquences cardiaque et respiratoire (126). Les dispositifs permettant de surveiller le niveau d'abreuvement des chevaux peuvent permettre de prévenir un épisode de colique car la déshydratation est un facteur de risque (160). Le Groom-Robot^{MD} de Equipona^{MD} permet également fractionner les repas et de les répartir sur la journée grâce à un distributeur automatique d'aliment. Cependant ce dernier n'est actuellement disponible qu'au Benelux (131). Les autres outils surveillant l'abreuvement (Blue Intelligence^{MD} et StableSense^{MD}) présentent le désavantage de ne s'intéresser qu'à cet unique paramètre (129,130).

Tableau IX: Diversité des fonctionnalités des objets connectés du cheval au repos

Données récoltées	Total re- censé	Disponibles en France
Suivi de l'activité, des mouvements, système d'alerte	5	2 (Trackener ^{MD} , Orscana ^{MD})
Niveau de forme avant l'exercice	2	1 (Ekily ^{MD})
Température cutanée et niveau de sudation	3	2 (Orscana ^{MD} , Horsepal ^{MD})
Abreuvement	3	1 (Blue Intelligence ^{MD})
Mesures environnementales	1	0
Fréquence cardiaque	3	1 (Ekily ^{MD})
Fréquence respiratoire	1	0

La diversité des objets pour le CT

La plupart de ces objets ont pour objectifs d'améliorer la performance du cheval athlète en la quantifiant et en prévenant l'apparition d'anomalie. Seul Estride Harmony^{MD} et HorseCom^{MD} se différencient en proposant respectivement un tapis permettant de détecter les points de pression infligés au dos du cheval par la selle et un casque audio permettant d'influer sur le tempérament du cheval. Parmi les objets s'intéressant au CT 8 sur 13 récoltent le même genre de d'informations : les caractéristiques de la locomotion (Tableau X). Chacun de ces produits a ses propres particularités en lien avec le type de marché visé. Par exemple Equisense Motion^{MD}, Seaver^{MD}, Estride Trackers^{MD} et iJump^{MD} (associé ou non à iPulse^{MD}) permettent de connaître la symétrie et le rebond des foulées du cheval. Or les clients visés sont des cavaliers pratiquant des disciplines équestres, notamment le saut d'obstacles et le dressage, dans lesquelles ces informations peuvent être pertinentes pour l'amélioration des performances. A l'inverse Equimetre^{MD}, equinITy^{MD}, Waook^{MD}, et Exalt Training^{MD} visent le marché des entraîneurs de chevaux de course. Ainsi ils ne s'intéressent pas à la symétrie ou le rebond des foulées mais plutôt à leurs amplitudes, la vitesse moyenne, la fréquence cardiaque et les indicateurs de performance comme la V200 ou le temps de récupération. Dans ces deux catégories la technologie utilisée est sensiblement la même : les capteurs inertiels. C'est le traitement des données qui diffère. On peut noter également que 7 des 13 dispositifs sont équipés d'un cardiofréquencemètre (Tableau X). Parmi ceux-ci les produits Polar^{MD} sont exclusivement développés pour cette fonction et peuvent être particulièrement intéressant pour des sports comme les courses d'endurance. Le marché visé par ces produits n'étant pas clairement défini, ils ont été classés dans une catégorie transversale (Tableau X).

Tableau X: Fonctionnalités des dispositifs du cheval au travail

Fonctionnalités des dispositifs	Total recensé	Disponibles en France
Caractéristiques de la locomotion concernant la vitesse	4	2 (Equimetre ^{MD} , equinITy ^{MD})
Qualité de la locomotion (rebond, symétrie)	5	4
Fréquence cardiaque	7	5
Conseils relatifs à la discipline pratiquée	2	2 (Equisense ^{MD} , Seaver ^{MD})
Analyse du contenu de la séance d'entraînement	6	5
Marché visé : cheval de course	4	2 (Equimetre ^{MD} , equinITy ^{MD})
Marché visé : cheval de sport équestre (dressage, saut d'obstacle, etc)	8	8

Les objets connectés du CT ne démontrent pas une grande diversité. La différentiation est surtout présente en fonction du marché visé.

D'une part, les objets connectés actuellement disponibles pour le CR sont peu nombreux et très spécifiques, ce qui laisse l'opportunité de réfléchir à un produit plus générique et sans grande concurrence. D'autre part, le cheval est un animal fragile chez qui une colique ou une fracture peuvent s'avérer fatales (159), et les propriétaires ne peuvent pas être aux écuries en permanence. Il semble donc important de proposer une solution innovante permettant de pallier à cette insécurité. Enfin on peut remarquer que la mesure des données environnementales n'est que peu proposée. Seul Ekily^{MD} a un projet de « station météorologique » à placer dans l'écurie et cette version n'est pas en vente actuellement et reste basique puisque c'est l'utilisateur lui-même qui devra définir les seuils d'alertes et qu'aucun conseil concernant le couvrement du cheval ne semble être prodiqué (116).

b. Avantages et inconvénients de la surveillance du cheval au repos et à distance

Lorsque l'on s'intéresse à la position des objets connectés du CR on comprend que seuls Blue Intelligence^{MD}, StableSense^{MD} et la station météo d'Ekily^{MD} sur 13 dispositifs ne s'installent pas directement sur le cheval mais se trouvent à distance. Cet

aspect nous semble donc être différenciant vis-à-vis de la concurrence. Cependant il convient d'analyser les avantages et les inconvénients de ce choix stratégique.

Les avantages de la surveillance à distance

Tout d'abord, l'implantation de l'objet connecté à distance va permettre de nous affranchir de l'utilisation de batterie et donc de la gestion qui en découle pour le client. En effet, le dispositif pourra être directement branché à un réseau électrique ce qui permet l'utilisation de nombreux capteurs, qu'ils soient ou non friands en énergie.

La mise à distance permet également de sécuriser le dispositif qui sera alors moins à risque de blesser le cheval et qui pourra moins facilement être endommagé par ce dernier.

L'éloignement du cheval va permettre la prise de vidéo de jour comme de nuit.

La présence d'un boitier central peut permettre l'utilisation de capteurs à différents endroits dans le box : abreuvoirs, porte, etc.

La fixité du système permet l'utilisation d'un réseau internet local (Wi-Fi) s'il est présent. Sinon les réseaux mobiles 3G ou 4G peuvent être utilisés.

Les inconvénients de la surveillance à distance

Certaines informations vont être plus difficiles à obtenir à distance du cheval, par exemple : la température corporelle, le niveau d'activité, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, etc.

Le système étant fixe la surveillance ne sera possible que lorsque le cheval est dans l'environnement restreint où se trouve le dispositif, par exemple un box.

L'installation du produit nécessitera l'accord du gérant de l'écurie où est logé le cheval. Le propriétaire ne pourra pas le fixer sans son autorisation. Cet aspect peut être un frein dans la vente du dispositif.

c. Décision stratégique

Suite à l'analyse du marché actuel concernant les objets connectés du cheval nous avons décidé de créer un produit s'intéressant au cheval au repos et qui se trouve à distance de celui-ci. L'objectif est d'effectuer des mesures et de les mettre à disposition de l'utilisateur de manière à l'aider à améliorer le bien-être, la santé et la sécurité de son cheval. Pour ce faire, il est important de comprendre quels sont les paramètres intéressants mesurables à distance et par quels moyens.

EN BREF

Actuellement en France, parmi les produits disponibles à la vente les **deux tiers** des objets connectés sont destinés au **cheval** en **travail**. Ceux-ci s'intéressent principalement au cheval **athlète**. Les dispositifs utilisés pour le cheval au **repos** présentent une **diversité** plus importante que ceux utilisés sur le cheval au travail, mais **aucun** d'eux ne permet à l'heure actuelle des **mesures environnementales**. Finalement, l'objet proposé s'intéressera au cheval au repos au box et sera **installé à distance** du cheval. Des mesures seront faites dans le but d'évaluer le niveau de bien-être d'un individu.

II) Evaluation de l'état de bien-être du cheval à distance : les paramètres d'intérêts

a. Définition du bien-être et de la bien-traitance

Avant d'évaluer le bien-être d'un cheval il convient d'en comprendre la définition. Celle-ci a pu évoluer parallèlement aux connaissances scientifiques. A l'heure actuelle l'OIE définit le bien-être animal dans son code terrestre comme la manière dont il évolue dans les conditions qui l'entourent. Le bien-être est considéré comme satisfaisant si les critères suivants sont réunis : bon état de santé, confort suffisant, bon état nutritionnel, sécurité, possibilité d'expression du comportement naturel, absence de souffrances telles que douleur, peur ou détresse (161). L'Institut français du cheval et de l'équitation (IFCE) propose une définition basée sur les recommandations de plusieurs auteurs : le bien-être est « un état de complète santé mentale et physique de l'animal qui découle de la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux et de ses capacités à s'adapter à son milieu » (162). L'IFCE estime que le bien-être ne doit plus être défini que par l'absence de douleur, de souffrances ou de stress mais également par l'expérience d'émotions positives de confort et de contentement comme le démontre le terme de « satisfaction » utilisé dans leur définition. Il est également important de faire le distinguo entre la bien-traitance qui correspond aux conditions nécessaires à l'obtention du bien-être et le bien-être en lui-même qui est la perception qu'ont les animaux de ces conditions. Cet état dépend donc de nombreux facteurs : l'espèce, le tempérament, le patrimoine génétique comportemental, l'âge, l'état de santé et les expériences passées. L'évaluation du bien-être peut se faire par des indicateurs mesurés sur les animaux et/ou dans l'environnement, la première étant préférée car plus représentative du bien-être et la seconde plus représentative de la bientraitance (163).

b. Protocoles d'évaluation du bien-être

Le premier projet européen, Welfare Quality®, impliquant 45 organismes de recherche ou partenaires professionnels a permis la construction d'un outil d'évaluation globale du bien-être des bovins, des porcs et des volailles. Ce projet a proposé un schéma (Figure 69) où les besoins des animaux sont liés à quatre grands principes et douze critères considérés comme nécessaires pour couvrir tous les aspects du bienêtre animal. Ces grands principes ont été repris par le projet AWIN (Animal Welfare Indicators) en 2015 qui a permis l'élaboration d'un outil d'évaluation multi-critères du bien-être adapté à d'autres espèces telles que les ovins, les caprins, les dindes, les chevaux et les ânes. Le protocole permet l'évaluation du bien-être des chevaux de plus de 5 ans par la mesure d'indicateurs centrés sur l'animal. Il est notamment tenu compte des émotions du cheval avec les tests de relation à l'homme et l'appréciation qualitative du comportement. Le but est d'avoir un outil pratique afin d'évaluer l'ensemble des animaux d'une exploitation. Il est disponible sur internet et sur une application mobile afin de pouvoir être facilement utilisé. Il comporte deux niveaux d'évaluation : le premier utilise 17 indicateurs et nécessite environ 5 minutes par cheval, le second en utilise 23 et nécessite de 11 à 25 minutes par cheval. Le second niveau

n'est utilisé que si l'exploitation n'est pas conforme à la législation, s'il n'y a qu'un cheval, ou si le premier niveau a montré de mauvaises conditions pour l'alimentation, les maladies ou la douleur (164).

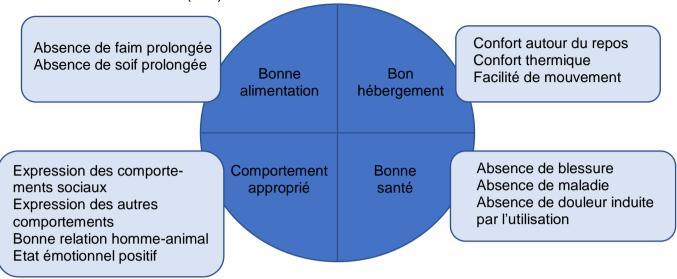


Figure 69: Principes et critères fondateurs des protocoles du Welfare Quality (164)

La Figure 69 nous présente les 4 principaux axes à étudier pour évaluer l'état de bien-être d'un animal, par exemple un cheval. Nous allons donc voir en détail pour chacun d'eux quel(s) indicateur(s) peut(vent) être utilisé(s) et si en pratique nous pourrons en faire la mesure à distance du cheval.

c. Bon hébergement : les paramètres environnementaux liés à la bien-traitance du cheval

Dans le protocole AWIN centré sur le cheval, les paramètres du bon hébergement mesurés sont : la quantité de litière, la température, la dimension des boxs et la facilité de mouvement (164). L'IFCE, dans son livre sur le bien-être du cheval y ajoute plusieurs paramètres : la qualité de l'air, la luminosité et le bruit (162). Dans le cadre de notre projet, nous désirons donner des informations et des recommandations aux propriétaires de chevaux dans le but d'améliorer l'état de bien-être de leur animal. Il ne s'agit pas d'évaluer la conformité d'une exploitation à la réglementation. Ainsi les paramètres « dimensions des boxs », « facilité de mouvement » et « quantité de litière » ne seront pas développés dans la suite de notre étude.

(i) Température extérieure et hygrométrie

Le microclimat autour du cheval n'est pas seulement dépendant de la température ambiante mais également de 5 autres variables : les radiations solaires, l'humidité, le type et la température des surfaces de contact, les précipitations et le vent. Il est difficile de prendre en compte tous ces paramètres dans l'établissement d'une zone de confort thermique, mais il est à noter que les effets de la température ambiante sont majoritaires et qu'elle est modifiée par les autres paramètres. C'est pourquoi dans de nombreuses études la température ambiante a été retenue comme paramètre de choix

pour évaluer le microclimat autour du cheval et déterminer sa zone de confort thermique (165) (166) (167). D'autres utilisent des indices comme l'index de confort (IC) tenant compte de la température ambiante (T_{air}) et de l'humidité relative (HR) comme suit : IC = T_{air} (°F) + HR (%) (168). Cette formule n'est pas valable pour les températures négatives. L'humidité est particulièrement intéressante à étudier lors de températures chaudes et concernant des animaux comme les chevaux ayant la capacité de dissiper la chaleur par évaporation de sueur. En effet, l'évaporation de la sueur est permise par le gradient de pression de vapeur entre la peau et l'air, si celui-ci est faible l'évaporation et ainsi la dissipation de chaleur s'en trouvent diminuées (165). Nous allons donc nous intéresser aux températures ambiantes et taux d'humidité dans lesquels le cheval se trouve dans une zone de confort.

Les chevaux s'adaptent bien aux températures froides ou chaudes puisqu'il en vit aussi bien dans les tropiques que dans les zones sub-artiques. Certaines races seront plus adaptées aux températures basses et d'autres aux températures chaudes, de par des adaptations morphologiques et physiologiques. Par exemple, les chevaux à sang chaud ou Warmblood sont adaptés aux températures élevés avec : des membres longs et fins, une crinière et des fanons peu denses, un poil fin, une peau fine, un dépôt graisseux sous-cutané faible, un caractère excitable et moins sociable et une capacité à produire un effort soudain et intense (métabolisme anaérobique). A l'inverse des chevaux à sang froid ou Coldblood qui sont adaptés aux températures basses avec : un index de compacité élevé (circonférence thoracique/hauteur au garrot), des extrémités (oreilles, queue et membres) courtes et recouvertes par une épaisse couche de poils, une peau épaisse, un dépôt graisseux sous-cutané important, un caractère calme et sociable, une incapacité à produire un effort brutal mais une endurance importante (métabolisme aérobique) (169). Les capacités de thermorégulation sont diminuées chez les individus jeunes, âgés ou malades ce qui les rendra plus sensibles aux températures extrêmes (170) (171). La thermorégulation s'effectue essentiellement par la thermogenèse et la thermolyse, mais également par trois phénomènes mécaniques mineurs: la convection, la conduction et la radiation.

La zone de confort thermique des chevaux

Les chevaux sont des animaux homéothermes, c'est-à-dire que leur température corporelle est quasiment constante grâce à une balance thermique :

Production de chaleur = perte de chaleur + stockage de chaleur (172)

La production de chaleur doit donc être équivalente à la perte de chaleur pour maintenir la température corporelle constante (ci-dessus nommée « stockage de chaleur »).

La zone de confort thermique ou thermoneutralité ou zone de thermorégulation minimale est différemment définie selon le point de vue de l'observateur (165):

- Plage de température à l'intérieur de laquelle l'organisme n'a pas de dépense d'énergie supplémentaire à faire pour maintenir la température interne du corps, c'est-à-dire que le métabolisme est basal,
- Plage de température à l'intérieur de laquelle la température corporelle reste normale, la sudation et le halètement sont absents et la production de chaleur est minimum,
 - Plage de température procurant un maximum de confort,

- Plage de température sélectionnée par l'animal parmi un panel non restreint dans l'environnement,
- Plage de température permettant des performances maximales et un stress minimal pour l'animal.

Dans la suite de notre étude nous définissons la thermoneutralité comme la plage de température dans laquelle le métabolisme est maintenu à son niveau basal, la sudation et l'halètement sont absents et la production de chaleur est minimum. Entre divers chevaux, elle peut varier en fonction de la race et de la morphologie, et au cours de la vie d'un même cheval en fonction de son âge, de son état de santé et de son apport alimentaire (162).

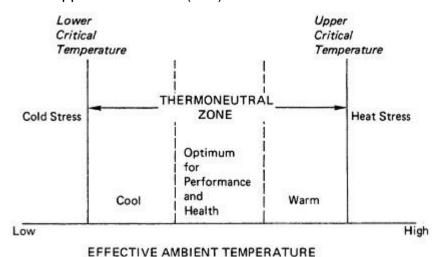


Figure 70: Définition de la zone de thermoneutralité (165)

Comme on peut le voir sur la Figure 70, cette zone est encadrée par la température critique basse, en-dessous de laquelle une production de chaleur surnuméraire est nécessaire, et une température critique haute au-dessus de laquelle un mécanisme de thermolyse tel que la sudation ou l'halètement doit être mis en place. Il existe deux zones de température au-dessus et en-dessous de la température optimale qui correspondent à des adaptations posturales, de la circulation périphérique (vasoconstriction et vasodilatation), du poil (pilo-érection) permettant de s'adapter aux changements de température tout en maintenant un métabolisme basal.

Une étude bibliographique a permis de regrouper 4 études s'intéressant à la valeur de la température critique basse moyenne pour plusieurs catégories de chevaux (Tableau XI). Comme précisé plus tôt, les poulains ont une température critique basse plus élevé que les adultes. La grande différence présente entre les auteurs peut en partie en partie s'expliquer par le peu d'individus observés, une différence de définition de la température critique basse, une différence inter-espèce, et enfin une différence d'acclimatation. Par exemple, Mc Bride et al. définissent la zone de thermoneutralité par le maintien d'un métabolisme basal par mesure des volumes de dioxygène consommé et de dioxyde de carbone relargué (173), tandis que Morgan la détermine par le maintien du taux de dissipation de chaleur total (166). De même, des trotteurs vivant en intérieur à 15-20°C et sortis 4 heures par jour à des températures de -5°C à +5°C ne seront pas aussi bien acclimatés au froid que des Quarter Horse vivant en extérieur au Canada en novembre. Il est alors compliqué d'établir un consensus concernant la zone de thermoneutralité des chevaux. Cependant, plusieurs organisations donnent

des recommandations similaires concernant celle-ci. Par exemple, le conseil national pour les soins aux animaux d'élevage du Canada préconise pour les adultes en bonne santé et non-tondus des températures comprises entre +5°C et +20°C (174). De même l'IFCE, propose une zone comprise entre +5°C et +25°C pour des chevaux non-tondus en régions tempérées. Pour les chevaux tondus, il est recommandé de les couvrir pour des températures inférieures ou égales à +6°C (167), leur zone de thermoneutralité étant déplacée vers le haut. Cependant, ils précisent que ce ne sont que des moyennes et que la meilleure façon d'interpréter le confort thermique du cheval est de l'observer. Un cheval qui sort de la zone de thermoneutralité pourra montrer une variation de la fréquence respiratoire, des frissons, de la sudation, et une variation de la température rectale (162).

Tableau XI: La température critique basse dans la littérature

Age	Race	Effectif	Température critique basse moyenne	Alimentation	Adaptation au froid	Références
Adulte	4 Trotteurs, 1 Shetland	5	+5°C	Correspondant à un niveau d'exercice léger	Acclimatés à 15-20°C + 4h/j à -5°C, +5°C	(166,167,17 2)
Adulte	Quarter Horse	6	-15°C	12kg de foin par jour	Chevaux vi- vants à l'exté- rieur au Ca- nada	(173)
Poulain (2-4 jours)	Poneys	24	22°C	Tétée à volonté	Non	(175)
Poulain (7-9 jours)	Poneys	24	19°C	Tétée à volonté	Non	(175)

Ainsi il est difficile de mesurer uniquement la température et d'en déduire si un individu est dans sa zone de confort thermique. Nous pouvons cependant envisager de prodiguer des conseils en fonction de la température, de l'âge et de l'isolation thermique du cheval (tondu/non-tondu). En outre, il existe des guides de conseils en ligne pour le grammage des couvertures à installer sur les chevaux selon la température extérieure. Nous avons pu recenser deux tableaux, un sur le site de Cheval Annonce (176) et un sur le blog Equiswap (177). Ce dernier est présenté dans la Figure 71. Leurs conseils semblent cohérents avec les données de la littérature (166,167,178). Cependant ces informations sont données sans aucune référence, que ce soit scientifique ou de la part des fabricants de couverture. Ainsi pour l'élaboration des conseils que nous désirons prodiguer aux utilisateurs de notre produit, il semble important d'effectuer une période de test pour vérifier et affiner les informations que nous avons pu trouver dans la littérature et sur internet.

La gestion des couvertures pour un cheval tondu

Température	Couverture	Grammage
De 10° à 15°	couverture légère (polaire ou couverture d'écurie)	– de 100 grammes
De 5° à 10°	couverture légère (polaire ou couverture d'écurie)	100 à 150 grammes
De 0° à 5°	couverture moyenne (couverture d'extérieur ou couverture d'écurie)	200 grammes
De -5° à 0°	couverture épaisse (couverture d'extérieur)	300 grammes
De -10° à -5°	Couverture épaisse (300gr) + une couverture polaire (100gr)	Au moins 400 grammes en tout

Figure 71: Tableau de gestion des couvertures pour un cheval tondu par Equiswap (177)

(ii) Qualité de l'air

Le logement des chevaux en intérieur engendre indubitablement une restriction de la circulation de l'air et une accumulation de matières potentiellement irritantes ou pathogènes. De plus, dans le but de garder les chevaux au chaud la ventilation des écuries est parfois drastiquement diminuée voire totalement stoppée (179). L'air des écuries peut contenir de nombreux organismes et particules : bactéries, virus, endotoxines, poussières, gaz, etc (180). Il a été démontré que pour les gaz c'est l'ammoniac qui est le plus abondamment retrouvé dans les écuries (181,182) du fait de la dégradation des excréments. De plus, lorsque l'on s'intéresse à la qualité de l'air dans le but d'améliorer la santé et le confort des chevaux à l'écurie, l'ammoniac et les poussières sont les deux paramètres les plus importants à surveiller (181–183).

Le taux d'ammoniac

Du fait de son caractère irritant pour le tractus respiratoire des chevaux (182) et des hommes (184), l'ammoniac est un facteur favorisant pour le développement des troubles respiratoires ou leur aggravation s'ils sont déjà existants. Cependant, la concentration à partir de laquelle il devient nocif pour le cheval n'a pas été établi. Ainsi il est important de maintenir son taux à un niveau minimal (185). On peut prendre pour guide les valeurs préconisées par les codes de bonnes pratique de différents pays, notamment celui du Canada : idéalement le taux d'ammoniac doit être inférieur à 10 parties par million (ppm) et ne doit pas excéder 25 ppm. Si la présence d'ammoniac est détectable par son odeur ou une irritation des yeux cela signifie que son taux est supérieur à 20 ppm (174). En Allemagne et en Norvège, il est également conseillé de maintenir un taux d'ammoniac inférieur à 10 ppm (162). Plusieurs moyens peuvent être mis en place pour diminuer sa concentration dans l'air : augmenter la ventilation de l'écurie (179,181) ; utiliser des litières dont l'absorption est maximale et l'émission d'ammoniac minimale comme les granulés de paille, le papier en morceaux ou en granules (181,186,187) ; ou traiter les litières avec des substances absorbant l'ammoniac

comme le bisulfate de sodium (188). On peut également noter que la paille de blé est la litière avec laquelle la concentration en ammoniac est la plus élevée tandis que les copeaux de bois sont intermédiaires (186).

Pour l'élaboration de notre produit, nous pouvons imaginer mesurer le taux d'ammoniac et avertir l'utilisateur en cas de dépassement du premier seuil de 10 ppm comme une détérioration de la qualité de l'air et du second seuil de 25 ppm comme un risque d'irritation des voies respiratoires pour le cheval et l'homme. Des conseils concernant l'augmentation de la ventilation de l'écurie ou le changement de type de litière pourront être prodigués. Une étude menée sur 19 écuries norvégiennes a montré que toutes les écuries évaluées présentaient des taux inférieurs à 10 ppm même en cas de faible ventilation (179).

La quantité de poussière

La poussière dans les écuries est principalement composée de diverses moisissures et causée principalement par le foin et la litière (185,189). La taille maximale des particules atteignant les alvéoles pulmonaires est de 5 à 10µm (190), 30-40% de la masse totale des particules d'une écurie sont respirables (191). Le tractus respiratoire des chevaux est particulièrement sensible à la quantité de particules dans l'air (192-194). De plus, il est actuellement communément admis que des taux de poussières importants jouent un rôle dans l'expression et l'exacerbation des signes cliniques des chevaux atteints de la maladie inflammatoire des voies respiratoire (IAD) (195) et de la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) ou emphysème (196,197). Ainsi, il semble particulièrement important de suivre la quantité de poussière dans l'air notamment lorsque des chevaux sont atteints de maladies respiratoires chroniques. Aucun seuil n'a été établi quant à la quantité maximale de poussière que devrait présenter une écurie. Cependant le règlement norvégien sur le bien-être du cheval préconise une concentration inférieure à 4 mg/m³ (162). De plus, Webster et al ont arbitrairement décrété un taux de 33 particules/cm³ comme étant le seuil maximal de poussières acceptables dans une écurie (198). Cette quantité correspond approximativement à la dose de spores d'Aspergillus fumigatus et de Micorpolyspora faeni utilisée par McPherson et al pour induire une MPOC chez des chevaux sensibilisés (199). En l'absence d'un seuil bien défini. la quantité de poussière doit être maintenue à son niveau minimal autant que faire se peut. Il est possible d'effectuer plusieurs changements afin de la diminuer : augmenter la ventilation (181,198), utiliser des litières et des fourrages faiblement poussiéreux (200-202). Concernant les litières, d'après Fleming et al les granulés de paille sont idéaux vis-à-vis de la paille de blé qui est la plus poussiéreuse tandis que les copeaux de bois sont intermédiaires (202). Pour les fourrages les moins poussiéreux, Woods et al conseillent les pellets de foin (200) tandis que Clements et al l'ensilage (201). La quantité de poussières est également dépendante de l'activité dans l'écurie, les valeurs les plus basses sont obtenus lorsqu'elle a cessée durant la nuit. De même, la suspension des particules est plus élevées lors du nettoyage des boxs (191). Ainsi, il est conseillé de les nettoyer en l'absence des chevaux particulièrement si ces derniers sont atteints d'une maladie respiratoire.

Pour l'élaboration de notre produit une option intéressante serait une modulation des seuils de quantité de poussière en fonction des observations de l'effectif. Le taux préprogrammé pourrait être de 33 particules/cm³ comme proposé par Webster et al. Mais par exemple si dans l'écurie certains chevaux présentent des maladies respiratoires chroniques telles que l'IAD ou la MPOC, le seuil pourra être le taux minimal à

partir duquel leurs signes cliniques apparaissent ou empirent. Ces données peuvent être particulièrement intéressantes pour les gérants d'écurie afin d'avoir une estimation objective des mesures qu'ils mettent en place pour améliorer la qualité de l'air notamment pour les chevaux emphysémateux.

Mise en garde vis-à-vis de la mesure de la qualité de l'air pour la vente du produit

La mesure de la qualité de l'air est intéressante pour le gérant d'écurie afin de l'aider dans l'évaluation de la ventilation, la qualité de ses litières et de son fourrages ainsi que de ses pratiques de nettoyage des boxs. Cependant, cette information peut le mettre en porte-à-faux si elle est directement disponible pour les propriétaires de chevaux logés dans son écurie malgré une bonne gestion. Ainsi, afin d'éviter des refus d'installation du produit, il sera important de proposer aux professionnels la possibilité de choisir s'ils désirent que cette information soit accessible ou non.

(iii) Luminosité

Garder un cheval à l'obscurité durant toute une journée est considérée comme intolérable selon la réglementation française et canadienne (162,174). L'intensité lumineuse doit permettre de distinguer convenablement les animaux. Bien qu'il n'existe pas de consensus, l'IFCE recommande une intensité lumineuse de 60 à 100 lux à 1m du sol ce qui correspond à une ampoule de 100 à 150 watts par box environ. Les recommandations concernant la détention de chevaux en Allemagne, au Danemark, en Norvège et en Suisse préconisent un accès à la lumière naturelle. Pour l'intensité lumineuse l'Allemagne et les Pays-Bas préconisent 80 lux et le Danemark 75 lux pendant 8 heures tous les jours. Le Canada et la Norvège indiquent qu'une période d'obscurité est nécessaire au cours d'une journée (162).

Pour notre produit ce paramètre ne semble pas essentiel puisque l'objectif n'est pas d'évaluer les conditions d'élevage d'une écurie mais le suivi du bien-être d'un cheval au quotidien. Cependant, nous pouvons proposer d'alerter l'utilisateur si aucune période d'obscurité n'a été détectée en 24 heures. Comme pour la qualité de l'air, ce paramètre pourrait être réservé au gérant de l'écurie afin de l'aider dans la gestion de sa structure sans le mettre en porte-à-faux vis-à-vis de ses clients.

(iv) Bruit

La première étude à s'être intéressée à la gamme de fréquences d'audition des chevaux de manière systématique a été menée par Odberg en 1978. Il a utilisé le réflexe de Preyer (rotation des oreilles) et dans une moindre mesure une réaction de peur comme indicateurs de perception des sons émis par un oscillateur audio. Dans cette étude le seuil d'intensité sonore pour la détection d'un signal n'a pas été étudié. La gamme de fréquences étudiées s'étendait de 14 Hz à 25 kHz, l'intensité n'était pas fixe mais pouvait varier avec la fréquence choisie. Les chevaux ont montré des réactions plus ou moins fortes pour la totalité de la gamme observée (203). En 1983, Heffner et Heffner ont testé l'hypothèse qu'il y a une corrélation inversement proportionnelle de la perception des sons à haute fréquence et la distance entre les canaux auditifs. Ils ont entraîné 3 chevaux assoiffés -un hongre Quarter Horse, une jument Apaloosa et un hongre croisé Welsh et Apaloosa- à placer leur museau sur une plaque

en métal dite d'observation afin que la hauteur de leurs oreilles soit stable au cours de l'expérience et à toucher une plaque en métal dite de réponse dans un délai de 3 secondes après l'émission du signal sonore pour obtenir une récompense en eau. L'intensité sonore était progressivement augmentée ou diminuée en fonction de la réponse au stimulus afin de déterminer un seuil pour la détection du signal. Cette expérience a montré que la gamme de fréquence entendue par les chevaux à une intensité de 60dB s'étendait de 55hZ à 33,5kHz avec une zone de sensibilité maximale comprise entre 1 et 16 kHz. L'intensité minimale à laquelle un son à pu être entendu était de 7dB pour une fréquence de 2 kHz ce qui est marginalement moins bon que chez la plupart des autres mammifères. Les chevaux ne semblent pas avoir une fréquence optimale bien définie. De plus, les résultats étaient globalement en accord avec les hypothèses que la perception des sons à haute fréquence était inversement corrélée à la distance entre les canaux auditifs ; la perception des sons à basse fréquence est l'opposée de la perception à haute fréquence (204). En comparaison, un homme de moins de 25 ans a une gamme de perception des sons allant approximativement de 20Hz à 20kHz avec une sensibilité maximale de 1 à 3 kHz (205,206).

Il n'a pas été établi de valeurs seuil pour la fréquence et l'intensité des sons à partir desquelles le bien-être du cheval pourrait être diminué. Cependant, la réglementation norvégienne concernant le bien-être du cheval préconise une intensité inférieure à 65 dB (162), ce qui correspond à un niveau sonore compris entre une conversation normale et le bruit d'un aspirateur (207). Une étude menée en 1991 par LeBlanc et al a montré que la simulation du bruit d'un avion (allant jusqu'à 115 dB) pouvait entraîner du stress et une réaction de fuite chez des juments gestantes. Cependant, une habituation était rapidement observée avec une diminution du score d'anxiété de 4,5/5 à 3/5 en moyenne après 12 simulations (2 jours de tests avec 6 événements par jour). Un score de 5 correspond à un cheval en fuite, 3 à un cheval alerte tandis que 2 à un cheval normal au repos (208). Pour l'homme, le code du travail donne dans l'article R4431-2 les valeurs limites d'exposition quotidienne au bruit et de niveau de pression acoustique de crête (son court et intense), respectivement de 87dB et 140 dB. Ces valeurs sont mesurées en tenant compte de l'atténuation du bruit par les équipement de protection individuels et ne doivent en aucun cas être dépassées (209).

Ainsi, pour notre produit la mesure du niveau de bruit ne semble pas pertinente car peu de données sont disponibles pour l'interprétation de ses valeurs. De plus, bien qu'aucune étude ne démontre le niveau sonore moyen des écuries celles-ci nous semblent généralement peu bruyantes si on les compare aux bruits que l'on peut entendre en centre-ville par exemple. De même, il pourra être difficile pour certaines écuries de diminuer l'intensité sonore, notamment lorsqu'elle découle principalement du système de ventilation mécanique, des vols d'avion, du système de récupération automatique du fumier, etc. Il semble donc judicieux de ne pas l'inclure dans le boitier.

d. Comportement approprié

Concernant le comportement approprié du cheval le protocole AWIN prévoit d'étudier 5 critères : l'expression des comportements sociaux, l'expression d'autres comportements (peur, stéréotypies), la qualité de la relation homme-animal, l'état émotionnel positif. Pour l'expression des comportements sociaux, il s'agit de noter la possibilité ou non pour le cheval d'avoir un contact physique et/ou visuel avec ses congénères. Cet aspect dépend de la conception des boxs, ainsi il ne sera pas développé dans la suite. De même, la relation homme-animal est évaluée dans le protocole par la réaction du cheval face à un test d'approche et ne fera pas l'objet d'une étude dans la suite.

Selon la définition de l'IFCE, la satisfaction des besoins comportementaux du cheval est un des critères essentiels au bien-être. Parmi les moyens pour évaluer cette satisfaction il y a l'étude du budget-temps, l'apparition de signes de stress, et l'expression de signes de bien-être (162).

Le budget-temps normal d'un cheval au box

Le budget-temps est la représentation en pourcentage de chaque comportement exprimé par le cheval en général sur une durée de 24h. Des budgets-temps ont été mesurés sur des chevaux en conditions semi-naturelles (210-213) et en box (212,214-218). Pour les chevaux en conditions semi-naturelles on peut prendre l'exemple d'une étude sur un troupeau de chevaux de Przewalski observé en été dans un parc zoologique national de l'état de Virginie. Les résultats de cette étude sont présentés dans la Figure 72. L'activité principale des chevaux était l'alimentation avec en moyenne 46% de la journée, soit environ 11h ce qui est en accord avec l'étude sur les chevaux Camarguais qui présentaient ce comportement en moyenne 64% du temps soit 16h sur 24. Durant 21% du temps les chevaux de Przewalski étaient observés debout immobiles avec un état de vigilance variable qui pouvait se rapprocher du repos. Les chevaux Camarguais présentaient un pourcentage inférieur de 5 à 11%, qui peut s'expliquer par une différence de définition de l'état de repos debout. Cependant, au total dans les deux études les chevaux se sont reposés un peu plus de 20% du temps alternativement en position debout, sternale ou latérale (210). Les chevaux de Przewalski ont passé 7% du temps à se déplacer, le plus souvent au pas. Des différences dans le budget-temps ont pu être observées notamment en fonction de l'âge et du sexe. Par exemple, les jeunes passent plus de temps couchés, les étalons sont plus souvent debout et en déplacements rapides et ils s'alimentent moins que les femelles. De même, des différences sont observées selon la saison et les intempéries. La répartition des activités n'est pas uniforme sur la journée, par exemple l'alimentation était plus importante entre 20h et 4h du matin. En journée, les chevaux passaient plus de temps au repos debout et à boire en comparaison avec la nuit (213).

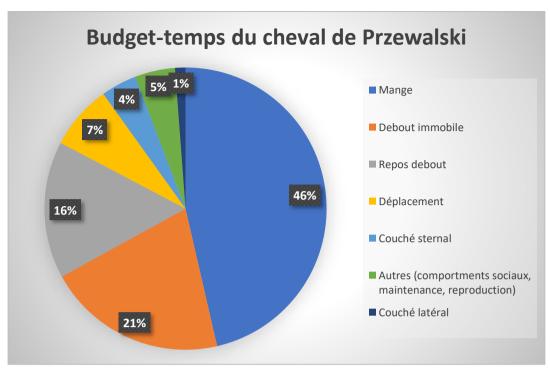


Figure 72: Budget-temps moyen du cheval de Przewalski en parc zoologique (213)

Les chevaux logés en box du fait des contraintes de leurs installations auront indubitablement un budget-temps différents des chevaux en liberté ou semi-liberté. Sweeting et Houpt se sont intéressés à des poneys logés en box, avec une alimentation restreinte à 1,5kg de foin deux fois par jour, un accès à l'eau constant et un contact à minima visuel avec d'autres chevaux. Les résultats de leur étude sont présentés dans la Figure 73. L'activité principale reste toujours l'alimentation avec 65% du temps passé à manger dont 57,7% du foin et 7,7% des copeaux et des fécès. Dans une autre étude menée par Sweeting sur des poneys nourris ad libitum, ce pourcentage montait en moyenne à 76% sans comportement de coprophagie ou de pica et le temps passé debout immobile diminuait à 19% (214). Logiquement, le taux de déplacement est inférieur pour ces poneys en comparaison aux chevaux en semi-libertés (213), d'autant qu'ils étaient considérés en mouvement dès qu'au moins une patte se déplaçait (étirement, grattage, marche) (215). Les résultats de cette étude sont comparables à ceux obtenus après l'observation de juments gestantes logées en box avec un accès à volonté à du fourrage (219).

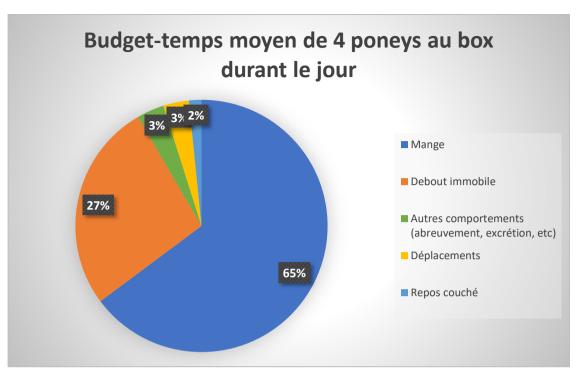


Figure 73: Le budget-temps de 4 poneys au box observés pendant le jour (215)

Ces études nous donnent une base concernant l'aspect que doit avoir le budget-temps normal du cheval. Cependant, il est à minima dépendant de l'âge, du sexe, des installations et du tempérament de l'animal (162). Ainsi, pour un individu donné il est plus intéressant de suivre l'évolution du budget-temps que son évaluation ponctuelle. En effet, la modification de l'expression de certains comportements peut être indicatrice d'un inconfort voire d'une souffrance. Par exemple, une étude préliminaires sur 12 chevaux subissant l'arthroscopie d'au moins une articulation mène à penser que l'étude du budget-temps, notamment le temps passé à se déplacer et le temps passé couché sont des indicateurs prometteurs pour l'évaluation de la douleur en post-opératoire. Ceux-ci semblent être plus sensibles que des observations directes et ponctuelles (comportement, posture, expressions faciales, etc) répétées au cours de la journée (220).

Ce paramètre semble très intéressant dans le monitorage du bien-être du cheval. Il serait possible de l'intégrer à notre produit, par exemple en utilisant des technologies de traitement d'image. Avec les données de la littérature il est difficile d'interpréter directement le budget-temps d'un individu pour en déduire un niveau de bien-être à un instant donné. Cependant, on peut imaginer que le logiciel apprendrait des habitudes du cheval et alerterait l'utilisateur en cas de changement important dans la répartition des comportements au cours de la journée. Une modification dans la répartition des activités pourrait être un signe de détérioration du bien-être voire de maladie.

Les signes de stress

Le stress peut être défini comme une réponse non spécifique de l'organisme à une demande perçue comme potentiellement menaçante pour l'homéostasie. Il peut être divisé en deux sous-catégorie : l'eustress pour lequel la réaction sera bénéfique pour

l'organisme, et la détresse pour laquelle le stress persiste et l'individu ne peut s'adapter. Cette dernière pourra mener à des comportements d'anxiété voire de dépression. Ce type de stress est alors associé à une diminution du bien-être (221). Ainsi, pour l'évaluation du bien-être nous nous restreindrons aux signes de détresse. Pour des raisons de simplicité dans la suite de notre étude, le mot stress sera utilisé pour ne parler que du second type de réaction (la détresse).

Il n'existe pas de réponse comportementale générale au stress, chaque réponse est spécifique à l'élément déclenchant, à l'environnement interne du cheval (statut hormonal, affection), à son tempérament mais également à l'environnement externe (contacts sociaux, organisation des locaux, etc). Ainsi, il est difficile d'évaluer l'intensité du stress en réponse à un élément (222). Cependant il existe des comportements, appelés stéréotypies, qui sont définis par Mason et Rushen en 2008 comme des comportements répétitifs induits par la frustration, par l'échec de tentatives d'adaptation et/ou par un dysfonctionnement du système nerveux (223,224). Ils sont comparables aux troubles obsessionnels et compulsifs (TOCs) décrits chez l'homme. Il existe deux types de stéréotypies : les stéréotypies orales et les stéréotypies locomotrices.

- Les stéréotypies orales :
- le « tic à l'appui » où le cheval s'appuie sur un support pour avaler de l'air,
 - le « tic à l'air » où le cheval avale de l'air sans prendre d'appui,
- le mâchonnement du bois où le cheval va ronger toute surface boisée de manière compulsive.
- Les stéréotypies locomotrices :
- le « tic de l'ours » où le cheval transfert son poids et bascule sa tête d'un côté à l'autre. Le cheval exprime généralement ce comportement à l'entrée de son box.
- le « tic déambulatoire » où le cheval tourne inlassablement dans son box (225).

En 2005 Gaultier et al admettent qu'elles découleraient d'une inadéquation entre l'environnement du cheval et ses « impératifs psychobiologiques » (222). On peut donc considérer qu'ils sont des indicateurs d'un stress chronique chez les chevaux. En revanche, ils n'est pas possible d'évaluer l'intensité de ce stress et il peut s'exprimer sous d'autres formes (vocalisations, agitation, agressivité, posture figée, etc). Une échelle d'évaluation a été proposée par Young et al en 2012 et semble prometteuse pour l'évaluation du niveau de stress en fonction des comportements exprimés par les chevaux (226). Cependant elle semble difficilement réalisable par un automate car elle analyse les attitudes des chevaux face aux différents stimuli auxquels ils sont soumis.

Certains tics ont des conséquences sur la santé des chevaux. Par exemple, le tic à l'appui et le tic à l'air sont des facteurs de risque importants pour le développement de l'entrapement d'anses intestinales dans le foramen épiploïque (227). Il s'agit également d'un vice à l'achat des chevaux. Ainsi, plusieurs méthodes ont été développées pour empêcher les chevaux d'exprimer ces comportements : colliers anti-tic qui rend difficile la flexion du cou, ou l'opération chirurgicale de Forrsell visant à empêcher la dilatation de l'œsophage (224). Cependant, plusieurs études dont celle de Nagy et al ont montré en 2009 que les mesures coercitives pour empêcher un cheval d'exprimer une stéréotypie (par exemple le « tic à l'appui ») augmenterait le niveau de stress du cheval. Ils ont donc émis l'hypothèse que les stéréotypies sont un moyen d'adaptation et de contrôle du stress chronique (224). Ainsi il est déconseillé de physiquement empêcher un cheval d'exprimer ces comportements mais préconisé de changer certains

aspects de son environnement afin qu'il puisse mieux satisfaire ses besoins comportementaux et physiologiques. Cependant une fois que le cheval présente une stéréotypie, elle est très difficile à éliminer.

Pour notre produit, il semble difficile de quantifier le niveau de stress du cheval en effectuant des mesures à distance. Cependant, il semble intéressant de détecter l'apparition des stéréotypies par le traitement automatique d'image afin d'avertir le plus tôt possible l'utilisateur de leur occurrence chez leur cheval. Il pourra être conseillé de modifier les conditions de vie de celui-ci afin de mieux répondre à ses besoins psychobiologiques sans l'empêcher d'exprimer son comportement stéréotypique ce qui aurait pour effet d'augmenter son stress.

Les signes de bien-être

D'après l'IFCE, le bien-être des chevaux ne se restreint pas à l'absence de signes de souffrance ou de mal-être mais comprend l'expression d'émotions positives (162). Dans le projet AWIN cet aspect est évalué par les réponses au test de relation homme-animal et par l'évaluation qualitative du comportement du cheval au box grâce à une grille d'appréciation (164). Cependant cette méthode semble peu reproductible (228) et non-automatisable puisqu'il s'agit de caractériser les émotions du cheval de manière subjective : agressif, inquiet, irrité, curieux, amical, etc. Aucune mesure ou évaluation objective n'a pu être trouvée dans la littérature quant à la caractérisation des comportements exprimant des émotions positives.

Bien qu'intéressant, ce paramètre ne sera pas initialement retenu dans l'élaboration de notre produit.

e. Bonne santé : les signes de douleurs, de blessures et de maladies

Une des cinq libertés fondamentales des animaux définies par l'OIE est l'absence de douleur, de lésion et de maladie (161). Parmi les maladies pouvant affecter les chevaux, les coliques (douleurs d'origine abdominale) et les fractures sont les deux premières causes de décès (159). Les détenteurs peuvent rarement être auprès de leurs chevaux la nuit et les deux maladies citées sont une grande source de stress pour eux, car plus elles sont prises en charge tardivement, plus le pronostic vital s'assombrit (229). Ainsi, nous allons nous concentrer sur les paramètres pouvant mettre en évidence un épisode de colique ou une douleur de l'appareil myo-arthro-squelettique.

(i) Les signes de coliques (158)

Van Loon et Van Dierendonck proposent en 2015 deux échelles d'évaluation de la douleur digestive (colique). La première (EQUUS-COMPASS) à partir de paramètres physiologiques et de comportements (Tableau XII). Un score supérieur à 5/42 indique une épisode probable de colique et un score supérieur à 11/42 indique une colique sévère nécessitant un traitement chirurgical ou une euthanasie. La sensibilité de cette échelle pour déterminer l'occurrence d'un épisode de colique est de 95,8%, sa spécificité est de 84% tandis que son utilisation dans la distinction entre la nécessité d'un traitement conservateur versus chirurgical démontre une sensibilité de 80% et une

spécificité de 85,7%. La seconde échelle (EQUUS-FAP) analyse les expressions faciales pour déterminer la douleur digestive (Tableau XIII). Un score supérieur à 4/18 indique une épisode probable de colique et un score supérieur à 6/18 indique une colique sévère nécessitant un traitement chirurgical ou une euthanasie. La sensibilité de détection d'une colique de cette échelle est de 87,5%, sa spécificité est de 88% tandis que son utilisation dans la distinction entre la nécessité d'un traitement conservateur versus chirurgical démontre une sensibilité de 30% et une spécificité de 64,3%. Ainsi, que ce soit pour la détection d'un épisode de colique ou l'évaluation de sa gravité la première échelle EQUUS-COMPASS semble la plus appropriée. Parmi les paramètres étudiés dans cette dernière, les borborygmes et la posture sont les deux paramètres les plus sensibles dans la détection avec respectivement une sensibilité de 92% et 88%. La spécificité est maximale (100%) pour la température rectale, la sudation, la percussion de l'abdomen, les roulades et le décubitus. Pour l'échelle EQUUS-FAP, le bruxisme, la fixité du regard et des oreilles ont également une spécificité de 100%.

Ainsi pour notre produit, il semble intéressant d'évaluer les paramètres de l'échelle EQUUS-COMPASS afin de détecter un épisode de colique et d'alerter l'utilisateur le plus précocement possible. Cependant certains paramètres seront plus difficiles à obtenir que d'autres. Par exemple, les borborygmes, les fréquences cardiaque et respiratoire peuvent difficilement être évaluées à distance. Concernant la fréquence cardiaque il existe quelques études en médecine humaine concernant leur mesure à distance grâce à :

- la photopléthysmographie soit la mesure du pouls par le volume sanguin périphérique via la variation de l'absorption lumineuse,
- la détection de micro-oscillations causées par la circulation cardiovasculaire.

Cependant, les études sont faites sur des hommes, immobiles, avec une bonne luminosité dans l'environnement (230). Ainsi, leur transposition à une espèce animale dont la peau est souvent noire, recouverte de poils, et dans des conditions de luminosité très variables est intéressante mais très complexe. D'autant que la plupart des études n'expliquent pas le détail de leur méthode publiquement.

La température corporelle peut être évaluée par thermographie mais les mesures sont peu fiables car en partie dépendantes de la température extérieure (231).

Ainsi, pour notre produit le traitement d'image pourrait être utilisé pour détecter les comportements susceptibles d'indiquer une colique en se référant à l'échelle EQUUS-COMPASS.

<u>Tableau XII : L'échelle composite EQUUS-COMPASS d'évaluation de la douleur digestive (226)</u>

Données	Catégories	Scores
Température rectale	36,9-38,5℃	0
	36,4-36,9°C ou 38,5-39°C	1
	35,9-36,4°C ou 39-39,5°C	2
	35,4-35,9°C ou 39,5-40°C	3
Bruits digestifs	Normaux	0
	Diminués	1
	Absents	2
	Augmentés ou métalliques	3
Comportements	Debout et calme et/ou un membre au repos, exploration de l'environnement	0
Posture	Abdomen discrètement levretté, exploration de l'environnement (possiblement sans cesse)	1
	Abdomen extrêmement levretté, dos arqué et/ou étirement du corps/des membres	2
	Décubitus, position debout courte (<1min), chien assis	3
Couché, roulade	Pas couché ou seul repos couché	0
	Couché sternal, roule ou tentative (1-2/5min)	1
	Alternance couché/debout, roule ou tentatives (>2/5min)	2
	Couché latéral avec membres étendus, sur le dos ou roule sans cesse	3
Sudation	Pas de sudation	0
	Chaud au touché, pas de zone humide	1
	Zones humides visibles, pas de goutte/coulée	2
	Sudation excessive, possible gouttes et coulées	3
Fouaille de la queue	Pas de mouvement de queue	0
	Fouaille occasionnellement (1-2/5min) et/ou queue loin du corps	1
	Fouaille fréquemment (3-4/5min), queue loin du corps	2
	Fouaille excessivement (>5/5min)	3
Coups à l'abdomen	Debout et calme, sans coups	0
	Coups occasionnels (1-2/5min)	1
	Coups fréquents (3-4/5min)	2
	Coups excessifs (>5/5min)	3
Grattage	Debout et calme, pas de grattage	0
	Gratte occasionnellement (1-2/5min)	1
	Gratte fréquemment (3-4/5min)	2
	Gratte excessivement (>5/5min)	3
Mouvements de tête	Peu de mouvement rapide, tête à même hauteur/direction	0
	Mouvement occasionnel, regarde les flancs (1-2/5min)	1
	Mouvement fréquent, regarde les flancs (3-4/5min)	2
	Mouvement excessif, regarde flancs (>5/5min), mord flancs (>1/5min)	3
Sons de douleur	Pas de sons audibles	0
	Bruxisme ou gémissement occasionnel (1-2/5min)	1
	Bruxisme ou gémissement fréquent (3-4/5min)	2
	Bruxisme ou gémissement excessif (>5/5min)	3
Aspect général	Calme, alerte, tourne vers l'observateur	0
	Alerte, pas de réticence à bouger, réaction aux sons/mouvements	1
	Sans répit, mouvement constant, réactions exagérées aux stimuli	2
	Stupeur : absence de mouvement, tête basse, réticence à bouger	3
Réaction à la palpation de la	Pas de réaction	
zone douloureuse du flanc	Réaction modérée	
	Résistance à la palpation	
	Réaction violente	
 Гotal		/42

<u>Tableau XIII: L'échelle d'expressions faciales EQUUS-FAP pour l'évaluation de la</u> douleur digestive (226)

Données	Catégories	Scores
Tête	Mouvements normaux, intérêt pour l'environnement	0
	Moins de mouvements	1
	Aucun mouvement	2
Paupières	Ouvertes, sclère visible lors des mouvements des yeux/de la tête	0
	Yeux plus ouverts ou plus fermés. Un bord de sclère est visible 50% du temps	1
	Franchement plus ouverts ou plus fermés. Sclère visible plus de 50% du temps	2
Focus	Concentré sur l'environnement	0
	Moins concentré sur l'environnement	1
	Pas d'intérêt pour l'environnement	2
Naseaux	Relâchés	0
	Légèrement soulevés	1
	Franchement soulevés	2
Commissures des lèvres	Relâchées	0
	Légèrement soulevées	1
	Franchement soulevées	2
Tonus musculaire facial	Pas de fasciculations	0
	Fasciculations modérées	1
	Fasciculations évidentes	2
Flehmen et/ou bâillement	Absent	0
	Présent	1
Bruxisme ou gémissement	Absent	0
	Présent	1
Oreilles	Positionnées vers les sons/clairement en réponse avec les deux oreilles ou la	0
	plus proche de la source sonore	
	Réponse réduite ou décalée dans le temps	1
	Positionnées vers l'arrière/absence de réponse	2
Total		/18

(ii) Les signes de douleur myoarthrosquelettique (232)

Concernant la douleur touchant l'appareil myoarthrosquelettique, les chevaux ne démontreront pas des signes identiques à une douleur d'origine abdominale. Par exemple, la distribution du poids pourra être modifié avec un non-appui du membre douloureux. La Tableau XIV présente les différents paramètres appréciés dans l'échelle d'évaluation de la douleur orthopédique sur 39 points proposée par Bussières et al. La majorité des critères ayant la meilleure sensibilité appartiennent aux paramètres comportementaux : posture (distribution du poids, confort), mouvements de tête, percussion de l'abdomen, et grattage du sol. Parmi ceux-ci la percussion de l'abdomen et la posture ont respectivement des spécificités excellente et excellente à bonne. Ainsi, ces critères peuvent être intéressants dans l'évaluation de la santé du cheval. Cependant, cette échelle présente peu de différences avec EQUUS-COM-PASS. Avec ces seules informations, il ne serait pas possible de distinguer de manière automatisée un épisode de colique d'une douleur myoarthrosquelettique. De plus, des paramètres tels que la modification de la répartition du poids peut être difficilement évalué par le traitement d'image. On peut cependant imaginer que la détection d'un non appui sur un membre serait plus évidente et probablement spécifique.

Pour notre produit, on pourrait inclure ces paramètres comportementaux dans les signes de douleur non spécifiques et déterminer la suppression d'appui d'un membre comme un indicateur d'une anomalie myoarthrosquelettique sévère.

<u>Tableau XIV: Sensibilité et spécificité des paramètres de l'échelle composite</u> d'évaluation de la douleur orthopédique (232)

Données	Reproductibilité	Spécificité	Sensibilité
Paramètres physiologiques			
Fréquence cardiaque		Modéré	Modéré
Fréquence respiratoire		Modéré	Modéré
Bruits digestifs		Bonne à excellente	Nulle
Température rectale		Nulle	Nulle à modérée
Comportements			
Apparence	Bonne	Nulle	Modérée
Posture	Bonne à excellente	Bonne à excellente	Excellente
Sudation	Excellente	Bonne	Nulle
Mouvements de tête Coups à l'abdomen	Bonne à excellente	Nulle à modérée	Excellente
Appétit	Excellente	Excellente	Excellente
Grattage au sol	Bonne à excellente	Bonne	Nulle à modérée
	Bonne	Modérée à bonne	Excellente
Réponse au soins			
Comportement d'interaction	Excellente	Bonne à excellente	Nulle à modérée
Réponse à la palpation de la zone doulou- reuse	Bonne à excellente	Excellente	Excellente
Critères physiologiques complémentaires			
Pression artérielle moyenne		Bonne	Excellente
Glycémie		Nulle	Nulle
Cortisolémie		Bonne	Modérée
Total	Bonne	Bonne	Bonne à excellente

f. Bonne alimentation

D'après les 5 libertés fondamentales décrites par l'OIE, un animal ne doit pas souf-frir de faim ou de soif prolongée (161). Ainsi, le protocole AWIN propose trois façons d'évaluer le respect de cette directive : le score corporel, la disponibilité d'un point d'eau propre, un test au seau d'eau. Le score corporel évalue la quantité de gras d'un individu sur une échelle allant de 1 à 9 avec la note minimale correspondant à un animal cachectique et la note maximale à un animal obèse. Cette échelle permet d'avoir une idée générale du respect des besoins nutritionnels du cheval. Pour l'abreuvement, les points d'accès en eau sont étudiés, ils doivent être propres et fonctionnels. Un test consiste à apporter un seau d'eau fraîche au cheval et de comptabiliser la quantité d'eau bue en 10 minutes, cette valeur sera utilisée dans l'évaluation globale du bien-être mais aucun seuil n'est préalablement déterminé (164). Dans notre cas, nous nous intéressons à un individu à un instant donné, et non à l'évaluation d'une structure ainsi il semble plus pertinent d'évaluer l'appétit et l'abreuvement du cheval dans la détection précoce d'une anomalie.

L'anorexie peut-être un signe clinique présent dans de nombreuses maladies, ainsi sa détection automatisée peut permettre d'alerter précocement le propriétaire de l'animal. De même, un changement dans le comportement alimentaire peut être indicateur d'un trouble digestif. Par exemple un cheval présentant une anorexie partielle associée ou non à des signes de coliques peut être indicateur du développement d'ulcères gastriques (233). De son gré, un cheval ne restera pas à jeun plus de 3-4 heures (174). Ainsi, il sera intéressant de suivre le comportement alimentaire d'un cheval par traitement d'image par exemple. Le plus important sera de détecter un changement d'habitude alimentaire.

Concernant l'abreuvement, un apport insuffisant en eau peut prédisposer les chevaux à des affections dont notamment des coliques (234). A l'inverse, une polydipsie peut être primaire (psychogénique) ou secondaire à une perte importante de fluides, notamment en cas de diarrhée ou de polyurie. Dans le cas où, la polydipsie est associée à une polyurie, les causes les plus probables sont les insuffisances rénales, un dysfonctionnement de la pars intermedia de l'hypophyse, des diabètes (235). Pour toutes ces maladies, une détection précoce est souhaitable afin de limiter la progression des dommages ou l'expression des conséquences sur les autres systèmes. Les chevaux ont des besoins en eau d'environ 25 à 70 mL/kg/j et ils sont considérés polydipsiques lorsque leur consommation dépasse les 100mL/kg/j (235). Ainsi pour notre produit, ce paramètre semble intéressant à évaluer. Il pourra être mesuré grâce à un débitmètre qui transmettra sans fil les données à un boitier central. L'utilisateur pourra recevoir différents types de notifications selon que la consommation du cheval a changé ou que le seuil de la polydipsie est dépassé. Des conseils pourront être donnés pour augmenter la prise de boisson et il sera suggéré de faire appel à un vétérinaire en cas d'anomalie importante.

g. Synthèse des paramètres d'intérêts retenus pour le dispositif de surveillance des chevaux au box

Le dispositif aura pour but de proposer à l'utilisateur un moyen simple d'évaluer l'état de santé et de bien-être d'un cheval directement sur une application mobile. Il consistera en un ensemble de capteurs communicants avec un boitier central fixe dont les données seront transférées par internet sur un serveur pour les redistribuer aux utilisateurs sur une application disponible sur téléphone intelligent. Les informations disponibles devront être simples, claires et visuelles. Des conseils pourront être prodigués quant au couvrement du cheval en fonction de la température, à l'augmentation de la prise de boisson, à des taux d'ammoniac ou de poussières élevés, à l'apparition d'anomalie dans le comportement du cheval, etc. Cependant, ce dispositif ne pourra en aucun cas remplacer l'appréciation subjective du cheval par son propriétaire ou une consultation par un vétérinaire. Il se place dans un contexte où les détenteurs ne peuvent pas être en permanence à proximité de leurs chevaux, où la domestication a exacerbé l'apparition de certaines affections parfois mortelles (par exemple les coliques), où le bien-être animal devient une préoccupation sociétale grandissante et où les TIC se sont démocratisées.

Les paramètres mesurés sur le cheval sont plus intéressants à étudier pour évaluer son bien-être (163), mais ils sont plus difficiles à obtenir à distance du cheval avec un dispositif fixe et les valeurs obtenues sont souvent moins fiables. C'est pourquoi le dispositif de surveillance du cheval au box que nous allons mettre en place se restreindra d'abord aux paramètres qui peuvent influencer le bien-être du cheval et qui sont facilement mesurables et interprétables. Ces paramètres sont regroupés dans le Tableau XV. La caméra pourra permettre par la suite un traitement d'image afin de dé-

tecter les différents comportements du cheval : alimentation, repos debout, repos couché, marche etc. Ces données seront intéressantes pour l'évaluation du bien-être comme nous l'avons vu précédemment mais demandent un long travail de référencement des images pour obtenir une analyse automatisée fiable des captures vidéos. La commande d'image pourra se déclencher automatiquement à intervalle régulier, lors d'un événement ponctuel (ouverture de porte) ou être activée manuellement par l'utilisateur. De plus, la mesure à distance des fréquences cardiaque et respiratoire semble réalisable mais demandera un travail de recherche et développement considérable afin de transposer ces technologies aux chevaux et d'obtenir des résultats avec une marge d'erreur satisfaisante.

<u>Tableau XV: Les paramètres d'intérêts mesurés dans un dispositif de surveillance</u> des chevaux au box

des chevaux au box			
Les paramètres mesurés			
Température ambiante			
Humidité ambiante			
Taux d'ammoniac*			
Quantité de poussière*			
Consommation d'eau			
Prise vidéo en temps réel jour et nuit			
Présence/absence du cheval			
Porte du box ouverte ou fermée			

^{*} Paramètres à n'adresser qu'aux gérants d'écurie

Dans un but de commercialisation, le produit ne devra pas être perçu comme une simple caméra en temps réel car de nombreuses solutions sont déjà présentes sur le marché. Les informations complémentaires associées aux conseils prodigués en fonction de la situation devront être différenciants vis-à-vis de ce type de concurrents.

EN BREF

Le produit que nous allons développer consistera en un boitier installé à distance du cheval, dans son box afin de suivre plusieurs paramètres permettant d'évaluer son état de bien-être. Pour ce faire plusieurs mesures sont possibles et plus ou moins complexes à mettre en place. Prioritairement, les données environnementales faciles d'accès pourront être mesurées (température, humidité, qualité de l'air, consommation d'eau). Ensuite, les données sur l'activité du cheval pourront être mesurées par des techniques de traitement d'image. Cependant ces dernières nécessitent un long travail de recherche et développement au préalable et sont plus complexes à mettre en place. Enfin des paramètres tels que la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la température corporelle semblent très intéressants mais difficiles d'accès à distance à l'heure actuelle sur les chevaux.

Conclusion:

La santé animale connectée est en plein développement. Les grandes institutions françaises s'y intéressent depuis quelques années. Sa définition et ses limites ont dernièrement été exposées par l'académie vétérinaire de France. Jusque là seule la esanté humaine était définie.

Dans l'espèce équine, la e-santé se définit par l'existence de divers outils connectés pour le vétérinaire et le détenteur de chevaux. Tout d'abord, le vétérinaire a à sa disposition des logiciels permettant une gestion facilitée de son activité, des applications mobiles l'aidant dans sa pratique quotidienne, des outils connectés facilitant l'accès aux examens complémentaires. Le détenteur, quant à lui, a accès à une multitude d'objets connectés pour son cheval. Ce dernier peut être considéré comme un athlète et au même titre que les sportifs humains dont toutes les performances sont analysées. de nouveaux outils de mesure se sont développés. A l'heure actuelle leur utilisation peut sembler encore compliquée. Cependant on peut comprendre comment ils peuvent permettre de détecter précocement des anomalies, parfois d'ordre médical. L'espèce équine étant également connue pour être fragile notamment du point de vue intestinal et les propriétaires se trouvant souvent éloignés de leurs chevaux, le besoin d'informations s'est fait ressentir. Divers objets s'intéressant au cheval au repos se sont développés afin de répondre à cette demande et permettre de surveiller un cheval à distance. Le vétérinaire pourra être confronté à ces objets et leurs données. Il doit donc y être préparé pour pouvoir répondre adéquatement aux nouvelles attentes des propriétaires. La médecine deviendra alors plus préventive que curative. Il peut également être au cœur du développement de ces nouvelles technologies, les compétences d'expert en santé animale étant esentielles pour leur élaboration.

Dans ce marché en plein essor, le secteur du cheval au repos semble encore partiellement ouvert. Nous avons donc décidé de créer un produit pour le cheval au box pour suivre son état de bien-être. Notre étude est préliminaire et de nombreux tests devront être réalisés pour permettre la validation d'un prototype fonctionnel, fiable et sécuritaire.

Bibliographie

- 1. SANTANER G. Guide pratique du vétérinaire connecté. *Comment utiliser les réseaux sociaux et les médias.* Paris: Editions Méd'com; 2016. 178 p.
- 2. MINISTERE DES SOLIDARITES ET DE LA SANTE. *Marisol Touraine présente la stratégie nationale e-santé 2020* [En ligne]. URL: http://solidarites-sante.gouv.fr/archives/archives-presse/archives-communiques-de-presse/article/marisol-touraine-presente-la-strategie-nationale-e-sante-2020-318325 [cité 24 avr 2018]
- 3. LEOBON A. *La télémédecine vétérinaire, une réalité au Canada*. La semaine vétérinaire. 2017;(1728):59.
- 4. WHO. *Health Systems Strengthening Glossary* [En ligne]. URL: http://www.who.int/healthsystems/hss_glossary/en/index5.html# [cité 4 sept 2017].
- 5. WHO. *Global Observatory for eHealth* [En ligne]. URL: http://www.who.int/goe/en/ [cité 4 sept 2017].
- 6. KAHN-BENSAUDE I,FAROUDJA J,GUERRIER B, ICHTERTZ G. Santé connectée, de la E-santé à la santé connecté. Livre Blanc Cons Natl Ordre Médecins. 2015;35.
- 7. AVMA PRACTICE ADVISORY PANEL. *Final report on telemedicine* [En ligne]. 2017 p. 45. Disponible sur: https://www.avma.org/KB/Resources/Reports/Documents/Telemedicine-Report-2016.pdf [cité 22 sept 2017]
- 8. ACADEMIE VETERINAIRE DE FRANCE. Rapport de l'Académie Vétérinaire de France sur la télémédecine vétérinaire [En ligne]. 2017 p. 14. Disponible sur: http://www.academie-veterinaire-defrance.org/fileadmin/user_upload/pdf/Reserve_membres/Rapport_Telemedecine_Vote.pdf [cité 13 déc 2017]
- 9. WHO. MHealth new horizons for health through mobile technologies: based on the findings of the second global survey on eHealth [En ligne]. 2011. p.112. Disponible sur: http://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf?Cached [cité 13 déc 2017]
- 10. FRANCE. *Article L6316-1*. Code de la santé publique, loi n°2009-879 du 21 juillet 2009, art.78.
- 11. FRANCE. Décret n° 2010-1229 du 19 octobre 2010 relatif à la télémédecine. JO n°0245 du 21 octobre 2010, texte n°13.
- 12. HELOUIN J. Communication: ce que permet le nouveau Code de déontologie. La dépêche vétérinaire. 2015;(1320):42.
- 13. CNIL. *Quantified self* [En ligne]. URL: https://www.cnil.fr/fr/definition/quantified-self [cité 5 sept 2017].

- 14. CONSEIL DE L'ORDRE NATIONAL DES VETERINAIRES. Code de déontologie vétérinaire [En ligne]. 2015. Disponible sur: https://www.veterinaire.fr/filead-min/user_upload/documents/profession/code-de-deontologie/1890_CODE_DEONTO-07-04-BD.pdf [cité 14 sept 2017]
- 15. FRANCE. Décret n° 2015-289 du 13 mars 2015 modifiant le code de déontologie vétérinaire et différentes dispositions liées à l'exercice professionnel vétérinaire. JO n°0063 du 13 mars 2015, p.4889.
- 16. FRANCE. *Article R242-33*. Code rural et de la pêche maritime.
- 17. FRANCE. Article R242-35. Code rural et de la pêche maritime.
- 18. DEJEAN-TCHAPO S. *Implémentation d'un cadre réglementaire pour les dispositifs médicaux vétérinaires: analyse d'impact* [En ligne]. Lyon: Claude Bernard Lyon 1; 2016. Disponible sur: file:///C:/Users/DidiLeChat/Downloads/THph_2016_DEJEAN-TCHAPO_Sandra.pdf [cité 13 déc 2017].
- 19. PARLEMENT EUROPEEN. Directive 2001/95/CE du Conseil du 3 décembre 2001 relative à la sécurité générale des produits. JO n° L 011 du 15 janvier 2002, p.0004-0017.
- 20. PARLEMENT EUROPEEN. Règlement (UE) 2016/679 du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données) [En ligne]. JO n° L 119 du 4 mai 2016. Disponible sur: http://data.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/fra
- 21. LAROUSSE É. *Dictionnaires Larousse français monolingue et bilingues en ligne* [En ligne]. Disponible sur: https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais [cité 30 avr 2018].
- 22. INSEE. L'internet de plus en plus prisé, l'internaute de plus en plus mobile [En ligne]. Insee Première, 1452. Disponible sur: https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281312 [cité 12 sept 2017].
- 23. VETOGEEK. *Enquête: les structures vétérinaires sont de plus en plus présentes sur le web.* La dépêche vétérinaire. 2016;(1330-1331):32.
- 24. CONSEIL NATIONAL DE L'ORDRE DES VETERINAIRES. *Vétérinaire un diplôme, une profession, des métiers* [En ligne]. 2016 Disponible sur: https://www.veterinaire.fr/fileadmin/user_upload/Ressources_documentaires/Communication/PLA-QUETTE MTIERS 2016ok-BD.pdf [cité 9 déc 2017].
- 25. DEVAUX A. Vétérinaires et réseaux sociaux, une histoire naissante. La dépêche vétérinaire. 2015;(1295):42.
- 26. CHEZMONVETO.COM. *Création de sites marchand pour les vétérinaires* [En ligne]. URL: http://www.chezmonveto.com/une-boutique-ecommerce-performante.html [cité 14 sept 2017].

- 27. LE POINT VETERINAIRE. Les objets connectés dédiés à la santé des animaux de compagnie, c'est [En ligne]. La Semaine Vétérinaire. 2017;(1726). Disponible sur: http://www.lepointveterinaire.fr/publications/la-semaine-veterinaire/article/n-1726/les-objets-connectes-dedies-a-la-sante-des-animaux-de-compagnie-c-est.html [cité 5 oct 2017]
- 28. MEDARD *F. Logiciels de gestion de cabinet : nouveaux services, nouveaux acteurs.* La Semaine Vétérinaire [En ligne]. 2013;(1534). Disponible sur: http://www.lepointveterinaire.fr/publications/la-semaine-veterinaire/archives/n-1534/logiciels-degestion-de-cabinet-nouveaux-services-nouveaux-acteurs.html [cité 7 sept 2017]
- 29. DR.VETO. Logiciels pour vétérinaires [En ligne]. URL: http://www.drveto.fr/ [cité 6 sept 2017].
- 30. GMVET. *Un logiciel créé pour les praticiens* [Internet]. URL: http://www.gmvet.fr/Content.aspx?code=20982&parent=20982 [cité 12 sept 2017].
- 31. INSERM. *E-santé : La médecine à l'ère du numérique* [En ligne]. Disponible sur: http://www.inserm.fr/actualites/rubriques/actualites-societe/e-sante-la-medecine-a-lere-du-numerique [cité 7 août 2017].
- 32. LEWIS & JAGGER. *The first smart collar / tracker for dogs* [En ligne]. URL: http://www.jagger-lewis.com/fr/ [cité 10 oct 2017].
- 33. OIE . Code sanitaire pour les animaux terrestres [En ligne]. 26e éd.; 2017. Disponible sur: http://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_introduction.pdf [cité 10 oct 2017].
- 34. FITBARK. *Explore Dog Health* [En ligne]. 2016. Disponible sur: https://www.fitbark.com/explore/ [cité 19 oct 2017]
- 35. ALLAIN C, PHILIBERT A, FRAPPAT B, QUINTON P, LAFONT N, LARSON-NEUR S, et al. ETUDE CONNECTIVITE. 2015. *Quels sont les attentes et besoins en connectivité des élevages bovins laitiers*? p. 72. Disponible sur: http://idele.fr/filead-min/medias/Documents/ETUDE_CONNECTIVITE_-_Pwp_final-2.pdf [cité 15 oct 2017].
- 36. MEURET M, TICHIT M, HOSTIOU N. *Elevage et pâturage «de précision»: l'animal sous surveillance électronique*. Courr Environ INRA. 2013;63:13–24.
- 37. CAILLAUD D, BROCARD V. Résultats techniques et économiques comparés de deux échantillons d'élevages bovins laitiers français avec ou sans robot de traite [En ligne]. Institut de l'Elevage; 2015. Disponible sur: http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte__7_Systemes_D-Caillaud.pdf [cité le 15 oct 2017].
- 38. DELAVAL France. *Herd NavigatorTM, Système d'analyse révolutionnaire* [En ligne]. Disponible sur: http://www.delavalfrance.fr/-/Product-Information1/Management/Systems/Herd-navigator/ [cité 5 févr 2018].
- 39. CONNECTERRA. *Ida* [En ligne]. Disponible sur: https://www.connecterra.io/ [cité 5 févr 2018].

- 40. BIOPIC. *Objets connectés et agriculture* [En ligne]. URL: http://biopic.fr/ [cité 5 févr 2018].
- 41. COPEEKS. Les productions animales [En ligne]. Disponible sur: http://copeeks.fr/fr/les-productions-animales/ [cité 5 févr 2018].
- 42. WITRACE. *Smartroupeau, Surveillez vos animaux depuis votre smartphone* [En ligne]. Disponible sur: http://witrace.com/site/smartroupeau/ [cité 5 févr 2018].
- 43. VETO-SOFT. *Editeur de logiciels pour vétérinaires* [En ligne]. Disponible sur: http://www.veto-soft.com/ [cité 5 févr 2018].
- 44. IDELE. *Elevage de précision* [En ligne]. Disponible sur: http://idele.fr/domaines-techniques/sequiper-et-sorganiser/elevage-de-precision.html [cité 6 sept 2017].
- 45. WIZZVET. *Vous n'êtes plus seul derrière votre stéthoscope* [En ligne]. Disponible sur: http://www.wizzvet.com/fr/ [cité 14 sept 2017].
- 46. CONSEIL DE L'ORDRE NATIONAL DES VETERINAIRES. Obligations du praticien en matière de formation continue [En ligne]. Disponible sur: https://www.veterinaire.fr/exercer-le-metier/la-formation-veterinaire-continue/obligations-du-praticien-en-matiere-de-formation-continue.html [cité 8 févr 2018].
- 47. WOODLEY EQUIPMENT COMPANY LTD. *Veterinary iPhone ECG Monitor [En ligne]. Woodley equipment, veterinary diagnostics.* Disponible sur: www.alivecorvet.com [cité 19 mars 2018].
- 48. EDUCATIONAL CONCEPTS, L.L.C. *The first veterinary drug resource* [En ligne]. Plumb's Veterinary Drugs. Disponible sur: https://www.plumbsveterinarydrugs.com/#!/home [cité 12 avr 2018].
- 49. APPLE INC. *CVP Vet (US)* [En ligne]. App Store. Disponible sur: https://itunes.apple.com/us/app/cvp-vet-us/id400724036?mt=8 [cité 12 avr 2018].
- 50. UCDAVIS. *VetPDA Calcs for iPhone and iPad* [En ligne]. Disponible sur: http://www.vetmed.ucdavis.edu/VetPDA/ [cité 12 avr 2018].
- 51. VETAPPS. *Vet Calculator Plus* [En ligne]. Disponible sur: https://vetapps.co.uk/vet_calculator_plus/ [cité 12 avr 2018].
- 52. A VET TOOL. A Vet Tool is now available! [En ligne]. Disponible sur: http://avettool.blogspot.com/ [cité 12 avr 2018].
- 53. MERCK SHARP & DOHME CORP. *MSD Veterinary Manual content available free in an app* [En ligne]. Disponible sur: https://www.msdvetmanual.com/news/editorial/2018/01/30/18/04/msd-veterinary-manual-content-available-free-in-an-app [cité 12 avr 2018].
- 54. CORNELL UNIVERSITY COLLEGE OF VETERINARY MEDICINE. Consultant, A diagnostic support system for veterinary medicine [En ligne]. Disponible sur: http://www.vet.cornell.edu/consultant/Consult.asp [cité 12 avr 2018].

- 55. VETERINARY ADVANCES LTD. *Veterinary Advances app* [En ligne]. Disponible sur: https://www.vetadvances.com/ [cité 12 avr 2018].
- 56. THAL ENTREPRISES INC. Horse Side Vet Guide, Equine Health Resource [En ligne]. Disponible sur: http://horsesidevetguide.com/ [cité 12 avr 2018].
- 57. VEZZOSI T, SGORBINI M, BONELLI F, BURALLI C, PILLOTTI M, MEUCCI V, et al. *Evaluation of a smartphone electrocardiograph in healthy horses: comparison with standard base-apex electrocardiography.* J Equine Vet Sci [En ligne]. 14 mars 2018; Disponible sur: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080618300406 [cité 19 mars 2018]
- 58. KRAUS MS, GELZER AR, RISHNIW M. Detection of heart rate and rhythm with a smartphone-based electrocardiograph versus a reference standard electrocardiograph in dogs and cats. J Am Vet Med Assoc. 5 juill 2016;249(2):189-94.
- 59. VEZZOSI T, BURALLI C, MARCHESOTTI F, PORPORATO F, TOGNETTI R, ZINI E, et al. *Diagnostic accuracy of a smartphone electrocardiograph in dogs: Comparison with standard 6-lead electrocardiography.* Vet J. 1 oct 2016;216:33-7.
- 60. SMITH J. Use of AliveCor Heart Monitor for Heart Rate and Rhythm Evaluation in Dairy Water Buffalo Calves (Bubalis Bubalis). J Dairy Vet Anim Res [En ligne]. 11 nov 2016;4(2). Disponible sur: http://medcraveonline.com/JDVAR/JDVAR-04-00113.php [cité 19 mars 2018].
- 61. KRAUS MS, RISHNIW MR, GELZER AR, BREWER F, DIVERS TJ. Comparison of the smartphone electrocardiogram device with a reference standard base apex electrocardiogram in horses. Proc 59th Annu Conv Am Assoc Equine Pract Nashv Tenn USA 7-11 Dec 2013. 2013;271-2.
- 62. OSCADI. *Osclut'Vet Compacted connected veterinary ultrasound* [En ligne]. Oscult'Vet. Disponible sur: http://www.oscult.com/veterinary.html [cité 22 mars 2018].
- 63. BUTTERFLY NETWORK, INC. *Meet Butterfly iQ Whole body imaging, under* \$2k [En ligne]. Butterfly Network. Disponible sur: https://www.butterflynetwork.com/ [cité 22 mars 2018].
- 64. HEALCERION. *Healcerion, Explores Anywhere You Need* [En ligne]. Healcerion. Disponible sur: https://www.healcerion.com/ [cité 30 mars 2018].
- 65. CLARIUS. *Clarius, Wireless portable ultrasound. It's about the image.* [En ligne]. [cité 31 mars 2018]. Disponible sur: https://www.clarius.com/
- 66. PHILIPS. *Philips Lumify, One touch to start an ultrasound exam* [En ligne]. Philips lumify. [cité 18 mars 2018]. Disponible sur: https://www.lumify.philips.com/web/
- 67. KIM EY, PARK KH, CHOI SJ, CHUNG W-J. Educational value of pocket-sized ultrasound devices to improve understanding of ultrasound examination principles and sonographic anatomy for medical student. PLOS ONE. 29 sept 2017;12(9):e0185031.

- 68. LEUNG DJ, AMUNDSON S, PHAN J, KIMURA B. smartphone teleguidance in learning to obtain point-of-care cardiac ultrasound images from within the hospital: a pilot study using novice learners. J Am Coll Cardiol. 10 mars 2018;71(11, Supplement):A1665.
- 69. EKUORE. *eKuore Vet, the electronic veterinary stethoscope* [En ligne]. eKuore. [cité 31 mars 2018]. Disponible sur: https://www.ekuore.com/en/veterinary-stethoscope/
- 70. 3M LITTMANN. 3MTM Littmann® Electronic Stethoscope Model 3200 [En ligne]. [cité 18 mars 2018]. Disponible sur: https://www.littmann.com/3M/en_US/littmann-stethoscopes/products/~/3M-Littmann-Electronic-Stethoscope-Model-3200/?N=5932256+8711017+3293188392&rt=rud
- 71. EKO DEVICES. *Eko, Electronic Stethoscope and EKG Telemedicine Solutions* [En ligne]. [cité 31 mars 2018]. Disponible sur: https://ekodevices.com/
- 72. AMERICAN DIAGNOSTIC CORPORATION. *Adscope 658, Electronic stethoscope* [En ligne]. [cité 1 avr 2018]. Disponible sur: https://www.adctoday.com/products/658
- 73. CARDIONICS. *Cardionics Clinical System* [En ligne]. [cité 1 avr 2018]. Disponible sur: https://www.cardionics.com//product/clinical-systems
- 74. CLINICLOUD. *CliniCloud Stethoscope* [En ligne]. [cité 1 avr 2018]. Disponible sur: https://clinicloud.com/store/stethoscope/
- 75. THINKLABS MEDICAL. *Thinklabs One Digital Stethoscope* [En ligne]. [cité 1 avr 2018]. Disponible sur: https://www.thinklabs.com/one-digital-stethoscope
- 76. SZILVASI V, VÖRÖS K, MANCZUR F, REICZIGEL J, NOVAK I, MATHE Á, et al. Comparison of traditional and sensor-based electronic stethoscopes in beagle dogs. Acta Vet Hung. 6 déc 2012;61(1):19-29.
- 77. VÖRÖS K, NOLTE I, HUNGERBÜHLER S, REICZIGEL J, EHLERS J, TATER G, et al. Sound recording and digital phonocardiography of cardiac murmurs in dogs by using a sensor-based electronic stethoscope. Acta Vet Hung. 25 févr 2011;59(1):23-35.
- 78. VÖRÖS K, BONNEVIE A, REICZIGEL J. Comparison of conventional and sensor-based electronic stethoscopes in detecting cardiac murmurs of dogs. Tierarztl Prax Ausg K Klientiere Heimtiere. 24 avr 2012;40(2):103-11.
- 79. REEF VB. *Evaluation of the Equine Cardiovascular System*. Vet Clin North Am Equine Pract. 1 août 1985;1(2):275-88.
- 80. INERTIA TECHNOLOGY. *EquiMoves, Equine gait analysis* [En ligne]. Equi-Moves. [cité 2 avr 2018]. Disponible sur: http://www.equimoves.nl/
- 81. EQUUSYS. Equusys Equine Sensor Systems [En ligne]. Equusys, Smart Technology for Winning Horses. 2010 [cité 2 avr 2018]. Disponible sur: http://www.equusys.com/home.html

- 82. CENTAURE METRIX. *Equimetrix, système d'analyse des allures* [En ligne]. [cité 2 avr 2018]. Disponible sur: http://www.centaure-metrix.com/EquiTechnologie.html
- 83. PEGASUS. Welcome to the world of easy to use equine gait screening [En ligne]. 2013 [cité 2 avr 2018]. Disponible sur: http://pegasus.uk.com/wordpress/
- 84. KEEGAN KG, MACALLISTER CG, WILSON DA, GEDON CA, KRAMER J, YONEZAWA Y, et al. Comparison of an inertial sensor system with a stationary force plate for evaluation of horses with bilateral forelimb lameness. Am J Vet Res. 27 févr 2012;73(3):368-74.
- 85. BELL RP, REED SK, SCHOONOVER MJ, WHITFIELD CT, YONEZAWA Y, MAKI H, et al. Associations of force plate and body-mounted inertial sensor measurements for identification of hind limb lameness in horses. Am J Vet Res. 30 mars 2016;77(4):337-45.
- 86. EQUINOSIS, LLC. *Equinosis® Q with Lameness Locator®* [En ligne]. [cité 18 mars 2018]. Disponible sur: https://equinosis.com/
- 87. MCCRACKEN M. J., KRAMER J., KEEGAN K. G., LOPES M., WILSON D. A., REED S. K., et al. *Comparison of an inertial sensor system of lameness quantification with subjective lameness evaluation*. Equine Vet J. 6 mai 2012;44(6):652-6.
- 88. KEEGAN KG, WILSON DA, KRAMER J, REED SK, YONEZAWA Y, MAKI H, et al. Comparison of a body-mounted inertial sensor system-based method with subjective evaluation for detection of lameness in horses. Am J Vet Res. janv 2013;74(1):17-24.
- 89. DONNELL JR, FRISBIE DD, KING MR, GOODRICH LR, HAUSSLER KK. Comparison of subjective lameness evaluation, force platforms and an inertial-sensor system to identify mild lameness in an equine osteoarthritis model. Vet J. 1 nov 2015;206(2):136-42.
- 90. KEEGAN K. G., DENT E. V., WILSON D. A., JANICEK J., KRAMER J., LA-CARRUBBA A., et al. *Repeatability of subjective evaluation of lameness in horses.* Equine Vet J. 9 févr 2010;42(2):92-7.
- 91. KEEGAN KG, KRAMER J, YONEZAWA Y, MAKI H, PAI PF, DENT EV, et al. Assessment of repeatability of a wireless, inertial sensor–based lameness evaluation system for horses. Am J Vet Res. 1 sept 2011;72(9):1156-63.
- 92. MARSHALL J. F., LUND D. G., VOUTE L. C. Use of a wireless, inertial sensor-based system to objectively evaluate flexion tests in the horse. Equine Vet J. 27 nov 2012;44(S43):8-11.
- 93. MOORMAN VJ, FRISBIE DD, KAWCAK CE, MCILWRAITH CW. Effects of sensor position on kinematic data obtained with an inertial sensor system during gait analysis of trotting horses. J Am Vet Med Assoc. 16 févr 2017;250(5):548-53.

- 94. LOPES MAF, DEARO ACO, LEE A, REED SK, KRAMER J, PAI PF, et al. *An attempt to detect lameness in galloping horses by use of body-mounted inertial sensors*. Am J Vet Res. 26 sept 2016;77(10):1121-31.
- 95. DESTRON FEARING. Destron Fearing, Equine microchips [En ligne]. [cité 2 avr 2018]. Disponible sur: http://destronfearing.com/our-products/equine/
- 96. BIO MEDIC DATA SYSTEMS. *IPTT-300, Accurate and Reliable Implantable Programmable Temperature Transponder* [En ligne]. [cité 3 avr 2018]. Disponible sur: https://www.bmds.com/products/transponders/iptt-300
- 97. ROBINSON TR, HUSSEY SB, HILL AE, HECKENDORF CC, STRICKLIN JB, TRAUB-DARGATZ JL. Comparison of temperature readings from a percutaneous thermal sensing microchip with temperature readings from a digital rectal thermometer in equids. J Am Vet Med Assoc. 15 août 2008;233(4):613-7.
- 98. JOHNSON SR, RAO S, HUSSEY SB, MORLEY PS, TRAUB-DARGATZ JL. *Thermographic Eye Temperature as an Index to Body Temperature in Ponies*. J Equine Vet Sci. 1 févr 2011;31(2):63-6.
- 99. SHELTON L. J., WHITE C. E., FELT S. A. A comparison of non-contact, subcutaneous, and rectal temperatures in captive owl monkeys (Aotus sp.). J Med Primatol. 17 juill 2006;35(6):346-51.
- 100. SAFEMATE FOALALARM. SafeMate Foaling alarm [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: https://safematefoalalarm.com/
- 101. FOALGUARD. *FoalGuard, is your mare in foal?* [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: http://www.foalguard.com/
- 102. SIGLOO. Sigloo alarme de poulinage [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: http://poulinage.fr/
- 103. BREEDER ALERT FOALING ALARM. The original breeder alert halter foaling alarm. Be there to witness the miracle of birth! [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: https://www.breederalert.com/
- 104. MAGIC BREED. *Magic Breed, Broobmare Foaling Alarm System* [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: http://www.magicbreed.com.au/mainenter_foal_alarms.htm
- 105. BIRTH ALARME SUISSE. *Birth Alarm Alarmes de Naissance* [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: https://birthalarm.com/chfr/
- 106. SISTECK. Foaling Alarm [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: http://www.foalingalarm.net/
- 107. KEE-PORT INC. Foaling alarms, EquiPage EquiFone [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: http://www.foalingalarm.com/index.htm

- 108. HAPPY FOALING. *Bienvenue sur Happy Foaling, spécialiste de la surveillance du poulinage* [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: https://www.happy-foaling.com/shop/fr/
- 109. SMART FOAL PTY LTD. *Foal, Monitor your mare anytime, anywhere!* [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: http://www.smartfoal.com/
- 110. FOALAPP. Foal App, Always know what your mare is up to [En ligne]. [cité 5 avr 2018]. Disponible sur: https://www.foalapp.com/
- 111. MAASKANT A., DE BRUIJN C. M., SCHUTRUPS A. H., STOUT T. A. E. *Dystocia in Friesian mares: Prevalence, causes and outcome following caesarean section.* Equine Vet Educ. 17 mars 2010;22(4):190-5.
- 112. GINTHER OJ, WILLIAMS D. On-the-farm incidence and nature of equine dystocias. J Equine Vet Sci. 1 avr 1996;16(4):159-64.
- 113. WESSEL M. Staging and Prediction of Parturition in the Mare. Clin Tech Equine Pract. 1 sept 2005;4(3):219-27.
- 114. TRACKENER. *Trackener: objet connecté pour le cheval* [En ligne]. [cité 11 févr 2018]. Disponible sur: https://www.trackener.com/fr/index
- 115. HORSE CAPE. Horse Cape- Meaningful technologies for better horse care [En ligne]. [cité 12 févr 2018]. Disponible sur: http://horse-cape.com/
- 116. IDO-DATA. *Ekily veille sur le bien-être de votre cheval* [En ligne]. [cité 12 févr 2018]. Disponible sur: https://ekily.fr/
- 117. BUCHHEIT M. *Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?* Front Physiol [En ligne]. 2014 [cité 12 févr 2018];5. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2014.00073/full
- 118. SCHMITT L, REGNARD J, MILLET GP. *Monitoring Fatigue Status with HRV Measures in Elite Athletes: An Avenue Beyond RMSSD?* Front Physiol [En ligne]. 2015 [cité 12 févr 2018];6. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2015.00343/full
- 119. TRACER SYSTEMS GMBH. *Enhorse* [En ligne]. [cité 12 févr 2018]. Disponible sur: https://enhorse.com/home-members.html
- 120. ARIONEO. Orscana premier objet connecté dédié au confort des chevaux [En ligne]. [cité 11 janv 2017]. Disponible sur: https://www.arioneo.com/fr/accueil/gammecare/
- 121. ARIONEO. Le boitier connecté Equimetre bientôt commercialisé. Sem Vét. 10 nov 2017;(1739):76.
- 122. HORSEWARE. *Horsepal* [En ligne]. [cité 11 févr 2018]. Disponible sur: http://horsepal.com/Home/Index

- 123. DECATHLON. *Capteur Be Connected* [En ligne]. [cité 14 févr 2018]. Disponible sur: https://www.decathlon.fr/capteur-be-connected-id_8375262.html
- 124. DECATHLON. Couverture STABLE 400 connectée marine [En ligne]. [cité 11 janv 2017]. Disponible sur: http://www.decathlon.fr/stable-400-connectee-marine-id 8360117.html
- 125. HOOFSTEP. We give the horse a voice [En ligne]. [cité 17 févr 2018]. Disponible sur: http://www.hoofstep.com/
- 126. NIGHTWATCH. *NightWatch, Equine Distress & Wellness Monitor* [En ligne]. [cité 17 févr 2018]. Disponible sur: https://www.nightwatch24.com/
- 127. PROTEQUUS. For every problem there is a solution [En ligne]. [cité 19 févr 2018]. Disponible sur: http://www.protequus.com/
- 128. SCHAB JR, SCHAB MW, BOWEN RM. *Mobile animal surveillance and distress monitoring* [En ligne]. US009629340B2 [cité 19 févr 2018]. p. 57. Disponible sur: http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=09629340&ID-

Key=8332D3E32142&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft1.uspto.gov%2Fne-

tacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO1%2526Sect2%3DHI-

TOFF%2526d%3DPALL%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fne-

tahtml%25252FPTO%25252Fsr-

chnum.htm%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526s1%3D9629340.PN.%2 526OS%3DPN%2F9629340%2526RS%3DPN%2F9629340

- 129. LA BUVETTE. *Blue IntelligenceTM, Abreuvoirs connectés de LA BUVETTE* [En ligne]. [cité 7 févr 2018]. Disponible sur: http://www.blueintelligence-labuvette.com/fr/
- 130. STABLESENSE. *Stablesense* [En ligne]. [cité 7 févr 2018]. Disponible sur: http://stablesense.com/#development
- 131. EQUIPONA. Groom-Robot est une mangeoire entièrement robotisée, de manière à reproduire fidèlement l'état naturel du cheval laissé au pré [En ligne]. [cité 16 mars 2018]. Disponible sur: http://www.groomrobot.be/fr
- 132. EQUISENSE. Comprenez votre cheval, progressez et veillez sur lui [En ligne]. [cité 4 mars 2018]. Disponible sur: http://equisense.com/fr
- 133. ARIONEO. Objets connectés pour chevaux, technologies d'analyse de la performance et de la santé équine [En ligne]. [cité 4 mars 2018]. Disponible sur: https://www.arioneo.com/fr/accueil/
- 134. GROUPE PARIS-TURF. *Exalt Real Time Horse Tracking* [En ligne]. [cité 17 mars 2018]. Disponible sur: http://exalt-services.com/
- 135. SOUFFL. La première solution de tracking sportif dédiée aux entraîneurs de chevaux de course [En ligne]. [cité 17 mars 2018]. Disponible sur: https://souffl.com/projets/la-premiere-solution-de-tracking-sportif-dediee-aux-entraineurs-de-chevaux-de-course/

- 136. SEAVER. Seaver, équipements connectés [En ligne]. [cité 7 mars 2018]. Disponible sur: https://seaverhorse.com/
- 137. EQUINITY. *The ultimate in horse welfare and fitness monitoring* [En ligne]. [cité 7 févr 2018]. Disponible sur: http://www.fineequinity.com/
- 138. EQUI-TEST. *Recherche en Physiologie Equine* [En ligne]. [cité 1 mars 2018]. Disponible sur: http://www.equi-test.com
- 139. POLAR. *Heart Rate Monitors, activity trackers and bike computers* [En ligne]. [cité 10 mars 2018]. Disponible sur: https://www.polar.com/en
- 140. LEBELT D, ZANELLA AJ, UNSHELM J. *Physiological correlates associated with cribbing behaviour in horses: changes in thermal threshold, heart rate, plasma β-endorphin and serotonin.* Equine Vet J. 1 nov 1998;30(S27):21-7.
- 141. MUNSTERS CCBM, DE GOOIJER J-W, VAN DEN BROEK J, VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN MMS. Heart rate, heart rate variability and behaviour of horses during air transport. Vet Rec. 5 janv 2013;172(1):15-15.
- 142. VISSER EK, VAN REENEN CG, VAN DER WERF JTN, SCHILDER MBH, KNAAP JH, BARNEVELD A, et al. *Heart rate and heart rate variability during a novel object test and a handling test in young horses.* Physiol Behav. 1 juin 2002;76(2):289-96.
- 143. VON LEWINSKI M, BIAU S, ERBER R, ILLE N, AURICH J, FAURE J-M, et al. Cortisol release, heart rate and heart rate variability in the horse and its rider: Different responses to training and performance. Vet J. 1 août 2013;197(2):229-32.
- 144. EVANS DL, ROSE R J. Method of investigation of the accuracy of four digitally-displaying heart rate meters suitable for use in the exercising horse. Equine Vet J. 1 mars 1986;18(2):129-32.
- 145. ILLE N, ERBER R, AURICH C, AURICH J. Comparison of heart rate and heart rate variability obtained by heart rate monitors and simultaneously recorded electro-cardiogram signals in nonexercising horses. J Vet Behav Clin Appl Res. 1 nov 2014;9(6):341-6.
- 146. CWD. *iJump, la selle connectée* [En ligne]. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: https://www.cwdsellier.com/fr/fr/pages/ijump
- 147. CHATEAU H. *Projet CWD-VetLab* [En ligne]. L'agence nationale de la recherche, des projets pour la science. [cité 11 mars 2018]. Disponible sur: http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?tx_lwmsuivibi-lan_pi2%5BCODE%5D=ANR-16-LCV2-0002
- 148. ARIONEO. Arioneo et CWD présentent iPULSE: la sangle connectée des chevaux de sport [En ligne]. 2017 [cité 12 mars 2018]. Disponible sur: https://www.arioneo.com/fr/partenariat-arioneo-cwd-ipulse-sangle-connectee/
- 149. ESTRIDE. Your Goals, Your Passion, Our Analysis. [En ligne]. [cité 11 févr 2018]. Disponible sur: https://www.estride.store/

- 150. HORSECOM. *HorseCom, l'équitation en musique* [En ligne]. [cité 15 janv 2017]. Disponible sur: http://www.horsecom.io/
- 151. NEVEUX C, FERARD M, DICKEL L, BOUET V, PETIT O, VALENCHON M. *La musique adoucit les mœurs... et diminue le stress* [En ligne]. Institut français du cheval et de l'équitation; 2016 [cité 15 janv 2017]. p. 9. Disponible sur: http://www.horsecom.io/pdf/HorseCom_Etudes_Claire_Neveux_JRE_2016.pdf
- 152. HOUPT K, MARROW M, SEELIGER M. A preliminary study of the effect of music on equine behavior. J Equine Vet Sci. 1 nov 2000;20(11):691-737.
- 153. STACHURSKA A, JANCZAREK I, WILK I, KEDZIERSKI W. Does Music Influence Emotional State in Race Horses? J Equine Vet Sci. 1 août 2015;35(8):650-6.
- 154. WILSON ME, PHILLIPS CJC, LISLE AT, ANDERSON ST, BRYDEN WL, CAW-DELL-SMITH AJ. *Effect of music on the behavioural and physiological responses of stabled weanlings*. J Equine Vet Sci. 1 mai 2011;31(5):321-2.
- 155. JUSLIN PN, SLOBODA JA. *Music and Emotion*. The Psychology of Music (Third Edition) [En ligne]. Academic Press; 2013 [cité 16 mars 2018]. p. 583-645. Disponible sur: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123814609000158
- 156. SEEHORSE. Connection: the future is here. And it's about to bring you closer to your horse, than you've ever been before [En ligne]. [cité 7 févr 2018]. Disponible sur: http://seehorse.ca/
- 157. SLOVE M. *Kickstarter, soit tu gagnes, soit tu ...apprends* [En ligne]. 2017 [cité 9 avr 2018]. Disponible sur: https://medium.com/equisense/kickstarter-soit-tu-gagnes-soit-tu-apprends-2858ed71d8e3
- 158. VAN LOON JPAM, VAN DIERENDONCK MC. Monitoring acute equine visceral pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A scale-construction study. Vet J. 1 déc 2015;206(3):356-64.
- 159. LEBLOND A, LEBLOND L, SABATIER P, SASCO A. *Epidémiologie descriptive des causes de la mort chez le cheval: résultats d'une enquête effectuée auprès de vétérinaires praticiens francophones.* Ann Méd Vét. 2001;(145):122-9.
- 160. REEVES MJ, SALMAN MD, SMITH G. Risk factors for equine acute abdominal disease (colic): Results from a multi-center case-control study. Prev Vet Med. 1 avr 1996;26(3):285-301.
- 161. OIE. Code sanitaire pour les animaux terrestres [En ligne]. 26e edition. OIE; 2017 [cité 15 déc 2017]. Disponible sur: http://www.oie.int/filead-min/Home/fr/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_introduction.pdf
- 162. BRIANT C, CAILLAREC, C. *Bien dans son corps, bien dans sa tête. Qu' est-ce que le bien-être du cheval ?* Institut français du cheval et de l'équitation. Exmes; 2017. 419 p.

- 163. EFSA. Panel on Animal Health and Welfare (AHAW). Statement on the use of animal-based measures to assess the welfare of animals. EFSA J. 1 juin 2012;10(6):n/a-n/a.
- 164. MINERO M, DALLA COSTA E, DAI F, SCHOLZ P, LEBELT D. *AWIN Welfare assessment protocol for horses* [En ligne]. 2015 [cité 15 déc 2017]; Disponible sur: https://air.unimi.it/handle/2434/269097#.WjOeokriY2w
- 165. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (US) SUBCOMMITTEE ON ENVIRON-MENTAL STRESS. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals* [En ligne]. Washington (DC): National Academies Press (US); 1981 [cité 20 déc 2017]. Disponible sur: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK232329/
- 166. MORGAN K. *Thermoneutral zone and critical temperatures of horses.* J Therm Biol. 1 févr 1998;23(1):59-61.
- 167. MORGAN K. Effects of short-term changes in ambient air temperature or altered insulation in horses. J Therm Biol. 1997;22(3):187-94.
- 168. MAIA AP DE A, OLIVEIRA SR DE M, MOURA DJ DE, SARUBBI J, VERCEL-LINO R DO A, MEDEIROS BBL, et al. *A decision-tree-based model for evaluating the thermal comfort of horses*. Sci Agric. déc 2013;70(6):377-83.
- 169. LANGLOIS B. *Inter-breed variation in the horse with regard to cold adaptation: a review.* Livest Prod Sci. 1 sept 1994;40(1):1-7.
- 170. MCKEEVER KH, EATON TL, GEISER S, KEARNS CF, LEHNHARD RA. *Age related decreases in thermoregulation and cardiovascular function in horses.* Equine Vet J. 1 nov 2010;42:220-7.
- 171. CYMBALUK NF. *Thermoregulation of horses in cold, winter weather: A review.* Livest Prod Sci. 1 sept 1994;40(1):65-71.
- 172. MORGAN K, EHRLEMARK A, SÄLLVIK K. Dissipation of heat from standing horses exposed to ambient temperatures between −3°C and 37°C. J Therm Biol. 1 juin 1997;22(3):177-86.
- 173. MCBRIDE GE, CHRISTOPHERSON RJ, SAUER W. *Metabolic Rate and Plasma Thyroid Hormone Concentrations of Mature Horses in Response to Changes in Ambient Temperature.* Can J Anim Sci. 1 juin 1985;65(2):375-82.
- 174. COMITÉ SCIENTIFIQUE RESPONSABLE DU CODE DE PRATIQUES DES ÉQUIDÉS. Code de pratiques pour le soin et la manipulation des équidés. 2013;96.
- 175. OUSEY JC, MCARTHUR AJ, MURGATROYD PR, STEWART JH, ROSSDALE PD. *Thermoregulation and total body insulation in the neonatal foal*. J Therm Biol. 1 janv 1992;17(1):1-10.
- 176. CHEVAL ANNONCE. *Quelle couverture pour mon cheval?* [En ligne]. Cheval@nnonce.com. [cité 14 avr 2018]. Disponible sur: https://www.chevalannonce.com/articles/couverture-cheval

- 177. EQUISWAP. La fiche pratique du grammage et des deniers des couvertures [En ligne]. [cité 14 avr 2018]. Disponible sur: https://blog.equiswap.com/grammage-couverture-cheval/
- 178. SLAUBAUGH CS, HAMMER CJ. Effect of different blanket weights on surface temperature of horses in cold environments. J Equine Vet Sci. 1 mai 2015;35(5):389-90.
- 179. BØE KE, DRAGSUND G, JØRGENSEN GHM, FABIAN-WHEELER E. Air Quality in Norwegian Horse Stables at Low Outdoor Temperatures. J Equine Vet Sci. 1 août 2017;55(Supplement C):44-50.
- 180. WATHES CM, PHILLIPS VR, HOLDEN MR, SNEATH RW, SHORT JL, WHITE RPP, et al. *Emissions of Aerial Pollutants in Livestock Buildings in Northern Europe: Overview of a Multinational Project.* J Agric Eng Res. 1 mai 1998;70(1):3-9.
- 181. CURTIS L, RAYMOND S, CLARKE A. Dust and ammonia in horse stalls with different ventilation rates and bedding. Aerobiologia. 1 déc 1996;12(1):239-47.
- 182. KATAYAMA Y, OIKAWA M, YOSHIHARA T, KUWANO A, HOBO S. *Clinico-Pathological Effects of Atmospheric Ammonia Exposure on Horses*. J Equine Sci. 1 janv 2001;6(3):99-104.
- 183. KWIATKOWSKA-STENZEL A, SOWINSKA J, WITKOWSKA D. Analysis of Noxious Gas Pollution in Horse Stable Air. J Equine Vet Sci. 1 févr 2014;34(2):249-56.
- 184. RYER-POWDER JILL E. *Health effects of ammonia*. PlantOperations Prog. 17 juin 2004;10(4):228-32.
- 185. CLARKE AF. A review of environmental and host factors in relation to equine respiratory disease. Equine Vet J. 1 sept 1987;19(5):435-41.
- 186. FLEMING K, HESSEL EF, VAN DEN WEGHE HFA. Evaluation of Factors Influencing the Generation of Ammonia in Different Bedding Materials Used for Horse Keeping. J Equine Vet Sci. 1 avr 2008;28(4):223-31.
- 187. TANNER MK, SWINKER AM, TRAUB-DARGATZ JL, STIFFLER LA, MCCUE PM, VANDERWALL DK, et al. *Respiratory and environmental effects of recycled phone book paper versus sawdust as bedding for horses.* J Equine Vet Sci. 1 juill 1998;18(7):468-76.
- 188. PRATT SE, LAWRENCE LM, BARNES T, POWELL D, WARREN LK. *Measurement of ammonia concentrations in horse stalls*. J Equine Vet Sci. 1 mars 2000;20(3):197-200.
- 189. MCGORUM BC, ELLISON J, CULLEN RT. *Total and respirable airborne dust endotoxin concentrations in three equine management systems*. Equine Vet J. 1 sept 1998;30(5):430-4.
- 190. DUNLEA AP, DODD VA. *Measurement of respirable dust levels in horse stables*. Can Agric Eng. 1995;37(3):205.

- 191. CRICHLOW E. C., YOSHIDA K., WALLACE K. *Dust levels in a riding stable*. Equine Vet J. 23 avr 2010;12(4):185-8.
- 192. MCPHERSON E. A., LAWSON G. H. K., MURPHY JILL R., NICHOLSON JANET M., BREEZE R. G., PIRIE H. M. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD): Factors influencing the occurrence. Equine Vet J. 23 avr 2010;11(3):167-71.
- 193. HOLCOMBE SJ, JACKSON C, GERBER V, JEFCOAT A, BERNEY C, EBER-HARDT S, et al. *Stabling is associated with airway inflammation in young Arabian horses*. Equine Vet J. 1 mai 2001;33(3):244-9.
- 194. FERRO E, FERRUCCI F, SALIMEI E, ANTONIN M, CODAZZA D, CANIATTI M. Relationship between the conditions of lower airways in healthy horses, environmental factors and air quality in stables. Equine Med. 2000;16(6):579-86.
- 195. COUËTIL LL, HOFFMAN AM, HODGSON J, BUECHNER-MAXWELL V, VIEL L, WOOD JLN, et al. *Inflammatory Airway Disease of Horses*. J Vet Intern Med. 1 mars 2007;21(2):356-61.
- 196. THOMSON JR, MCPHERSON EA. Effects of environmental control on pulmonary function of horses affected with chronic obstructive pulmonary disease. Equine Vet J. janv 1984;16(1):35-8.
- 197. JACKSON CA, BERNEY C, JEFCOAT AM, ROBINSON NE. *Environment and prednisone interactions in the treatment of recurrent airway obstruction (heaves).* Equine Vet J. sept 2000;32(5):432-8.
- 198. WEBSTER AJF, CLARKE AF, MADELIN TM, WATHES CM. Air hygiene in stables 1: Effects of stable design, ventilation and management on the concentration of respirable dust. Equine Vet J. 1 sept 1987;19(5):448-53.
- 199. MCPHERSON E. A., LAWSON G. H. K., MURPHY JILL R., NICHOLSON JANET M., BREEZE R. G., PIRIE H. M. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) in Horses: Aetiological Studies: Responses to Intradermal and Inhalation Antigenic Challenge. Equine Vet J. 23 avr 2010;11(3):159-66.
- 200. WOODS PSA, ROBINSON NE, SWANSON MC, REED CE, BROADSTONE RV, DERKSEN FJ. Airborne dust and aeroallergen concentration in a horse stable under two different management systems. Equine Vet J. 1 mai 1993;25(3):208-13.
- 201. CLEMENTS JM, PIRIE RS. Respirable dust concentrations in equine stables. Part 1: validation of equipment and effect of various management systems. Res Vet Sci. oct 2007;83(2):256-62.
- 202. FLEMING K, HESSEL EF, VAN DEN WEGHE HFA. Generation of Airborne Particles from Different Bedding Materials Used for Horse Keeping. J Equine Vet Sci. 1 juill 2008;28(7):408-18.
- 203. ODBERG F. O. A Study of the Hearing Ability of Horses. Equine Vet J. avr 1978;10(2):82-4.

- 204. HEFFNER RS, HEFFNER HE. Hearing in large mammals: Horses (Equus caballus) and cattle (Bos taurus). Behav Neurosci. 1983;97(2):299-309.
- 205. HEFFNER HE. *Auditory awareness*. Appl Anim Behav Sci. 1 mai 1998;57(3):259-68.
- 206. FAY RR, WILBER LA. *Hearing in Vertebrates: A Psychophysics Databook*. J Acoust Soc Am. 1 nov 1989;86(5):2044-2044.
- 207. MINISTERE DE LA SANTE ET DES SERVICES SOCIAUX QUEBEC. Exemples de sources de bruit et de réactions humaines selon le niveau de bruit Publications du ministère de la Santé et des Services sociaux [En ligne]. Ministère de la Santé et des Services Sociaux Québec; 2016 juin [cité 15 avr 2018]. Report No.: 15-004-06W. Disponible sur: http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/document-001664/
- 208. LEBLANC M, LOMBARD C, MASSEY R, KLAPSTEIN E, LIEB S. *Behavioral and Physiological Responses of Horses to Simulated Aircraft Noise* [En ligne]. Florida univ gainesville coll of veterinary medicine; 1991 janv [cité 15 avr 2018]. Report No.: ADA303873. Disponible sur: http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA303873
- 209. Code du travail Article R4431-2. Code du travail.
- 210. DUNCAN P. *Time-Budgets of Camargue Horses II. Time-Budgets of Adult Horses and Weaned Sub-Adults. Behaviour.* 1 janv 1980;72(1):26-48.
- 211. BENHAJALI H, RICHARD-YRIS M-A, LEROUX M, EZZAOUIA M, CHARFI F, HAUSBERGER M. *A note on the time budget and social behaviour of densely housed horses*. Appl Anim Behav Sci. juill 2008;112(1-2):196-200.
- 212. HOUPT KA, O'CONNELL MF, HOUPT TA, CARBONARO DA. *Night-time behavior of stabled and pastured peri-parturient ponies*. Appl Anim Behav Sci. 1 mai 1986;15(2):103-11.
- 213. BOYD LE, CARBONARO DA, HOUPT KA. *The 24-hour time budget of Przewalski horses*. Appl Anim Behav Sci. 1988;21(1-2):5–17.
- 214. SWEETING MP, HOUPT CE, HOUPT KA. Social facilitation of feeding and time budgets in stabled ponies. J Anim Sci. 1985;60(2):369–374.
- 215. SWEETING MP, HOUPT KA. Water consumption and time budgets of stabled pony (Equus caballus) geldings. Appl Anim Behav Sci. 1987;17(1-2):1–7.
- 216. PICCIONE PG, COSTA A, GIANNETTO C, CAOLA G. *Daily rhythms of activity in horses housed in different stabling conditions*. Biol Rhythm Res. 1 févr 2008;39(1):79-84.
- 217. DALLAIRE A, RUCKEBUSCH Y. Sleep and Wakefulness in the Housed Pony Under Different Dietary Conditions. Can J Comp Med. janv 1974;38(1):65-71.
- 218. CHAPLIN SJ, GRETGRIX L. *Effect of housing conditions on activity and lying behaviour of horses.* The Animal Consortium 2010. 2010;4(05):792-5.

- 219. FLANNIGAN G, STOOKEY JM. Day-time time budgets of pregnant mares housed in tie stalls: a comparison of draft versus light mares. Appl Anim Behav Sci. 10 sept 2002;78(2):125-43.
- 220. PRICE JILL, CATRIONA SEAGO, WELSH ELIZABETH M, WARAN NATALIE K. *Preliminary evaluation of a behaviour-based system for assessment of post-operative pain in horses following arthroscopic surgery.* Vet Anaesth Analg. 27 juin 2003;30(3):124-37.
- 221. HANS SELYE. *Confusion and Controversy in the Stress Field.* J Human Stress. 1 juin 1975;1(2):37-44.
- 222. PEETERS M. Évaluation du niveau de stress du cheval en compétition et en milieu hospitalier: Mesures comportementales, physiologiques et appréciation du tempérament [En ligne]. Université de Liège, Liège, Belgique; 2011 [cité 21 avr 2018]. Disponible sur: https://orbi.uliege.be/handle/2268/103653
- 223. MASON G, RUSHEN J. Stereotypic Animal Behaviour: Fundamentals and Applications to Welfare. CABI; 2008. 381 p.
- 224. NAGY K, BODO G, BARDOS G, HARNOS A, KABAI P. The effect of a feeding stress-test on the behaviour and heart rate variability of control and crib-biting horses (with or without inhibition). Appl Anim Behav Sci. 1 nov 2009;121(2):140-7.
- 225. SARRAFCHI A. Equine stereotypic behavior as related to horse welfare: A review [En ligne]. Linköpings university; 2012 [cité 21 avr 2018]. Disponible sur: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-77944
- 226. YOUNG T, CREIGHTON E, SMITH T, HOSIE C. A novel scale of behavioural indicators of stress for use with domestic horses. Appl Anim Behav Sci. août 2012;140(1–2):33-43.
- 227. ARCHER D. C., PINCHBECK G. L., FRENCH N. P., PROUDMAN C. J. *Risk factors for epiploic foramen entrapment colic: An international study.* Equine Vet J. 5 janv 2010;40(3):224-30.
- 228. DANY P, VIDAMENT M, M YVON J, REIGNER F, BARRIERE P, RIOU M, et al. *Protocole d'évaluation du bien être chez le cheval « AWIN Horse » : essai en conditions expérimentales et premières évaluations sur le terrain.* Inst Fr Cheval L'équitation 2017. 16 mars 2017;p159-162.
- 229. LINDEN MARIANNE A., LAFFONT CELINE M., OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN MARIANNE M. SLOET. *Prognosis in Equine Medical and Surgical Colic.* J Vet Intern Med. 28 juin 2008;17(3):343-8.
- 230. LI X, CHEN J, ZHAO G, PIETIKÄINEN M. Remote Heart Rate Measurement from Face Videos under Realistic Situations. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2014. p. 4264-71.
- 231. RAMEY D, BACHMANN K, LEE ML. A Comparative Study of Non-contact Infrared and Digital Rectal Thermometer Measurements of Body Temperature in the Horse. J Equine Vet Sci. 1 avr 2011;31(4):191-3.

- 232. BUSSIERES G, JACQUES C, LAINAY O, BEAUCHAMP G, LEBLOND A, CADORE J-L, et al. *Development of a composite orthopaedic pain scale in horses*. Res Vet Sci. 1 oct 2008;85(2):294-306.
- 233. ANDREWS FM, NADEAU JA. *Clinical syndromes of gastric ulceration in foals and mature horses.* Equine Vet J. 1 avr 1999;31(S29):30-3.
- 234. GONÇALVES S, JULLIAND V, LEBLOND A. *Risk factors associated with colic in horses.* Vet Res. 1 nov 2002;33(6):641-52.
- 235. MCKENZIE EC. *Polyuria and Polydipsia in Horses*. Vet Clin Equine Pract. 1 déc 2007;23(3):641-53.

ROUDAUD Marine

LA SANTE EQUINE CONNECTEE : DEFINITION, TOUR D'HORIZON ET EXEMPLE D'UN DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DU BIEN-ETRE DES CHEVAUX AU BOX

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 22 juin 2018

RESUME:

Cette thèse consiste en un état des lieux de la santé équine connectée et en l'élaboration d'un dispositif innovant de surveillance du bien-être des chevaux au box. Elle est conçue en trois parties.

La première détaille le périmètre de la santé connectée et en définit tous les termes grâce aux informations délivrées par les grandes institutions des médecines humaine et vétérinaire française ou étrangère. Les différentes définitions et limites proposées sont discutées et comparées.

Ensuite, ce travail se focalise sur les différents aspects de la santé connectée dans l'espèce équine. Une revue d'un grand nombre d'innovations utilisant les technologies de l'information et de la communication est présentée pour la pratique vétérinaire équine et la gestion du cheval. Elles sont regroupées par domaine d'intérêt.

Puis la dernière partie dresse un rapide tableau du marché des objets connectés non vétérinaires à destination des chevaux aujourd'hui en France permettant de prendre des décisions stratégiques dans l'élaboration d'un nouveau dispositif. Enfin, les différents paramètres d'intérêt dans l'évaluation du bien-être des chevaux sont discutés.

MOTS CLES:

- cheval - bien-être

- télémédecine - innovations technologiques

- technologies de l'information et de la communication (TIC)

JURY:

Président : Monsieur le Professeur Emmanuel Broussolle

1er Assesseur :Monsieur le Professeur Jean-luc Cadoré2ème Assesseur :Monsieur le Professeur Luc Mounier

DATE DE SOUTENANCE : le 22 juin 2018