



HAL
open science

**Intérêt d'un tapis d'analyse de la marche dans
l'évaluation d'un complément alimentaire chez le chien
arthrosique âgé**
Mathilde Nguyen Dinh

► **To cite this version:**

Mathilde Nguyen Dinh. Intérêt d'un tapis d'analyse de la marche dans l'évaluation d'un complément alimentaire chez le chien arthrosique âgé. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04933420

HAL Id: dumas-04933420

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04933420v1>

Submitted on 6 Feb 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNÉE 2023 - Thèse n° 113

THÈSE SOUS EMBARGO JUSQU'AU 13/11/2024

**INTÉRÊT D'UN TAPIS D'ANALYSE DE LA MARCHÉ
DANS L'ÉVALUATION D'UN COMPLÉMENT
ALIMENTAIRE CHEZ LE CHIEN ARTHROSIQUE ÂGÉ**

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement

devant l'UFR de Médecine de l'Université de Nantes

le 13 novembre 2023

par

Mathilde NGUYEN DINH

Sous la direction de

Olivier GAUTHIER

Président du jury : Monsieur Yassine MALLEM - Professeur à Oniris
Membres du jury : Monsieur Olivier GAUTHIER - Professeur à Oniris
Monsieur Pierre MAITRE - Maître de conférences à Oniris

ANNÉE 2023 - Thèse n° 113

THÈSE SOUS EMBARGO JUSQU'AU 13/11/2024

INTÉRÊT D'UN TAPIS D'ANALYSE DE LA MARCHÉ DANS L'ÉVALUATION D'UN COMPLÉMENT ALIMENTAIRE CHEZ LE CHIEN ARTHROSIQUE ÂGÉ

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement

devant l'UFR de Médecine de l'Université de Nantes

le 13 novembre 2023

par

Mathilde NGUYEN DINH

Sous la direction de

Olivier GAUTHIER

Président du jury : Monsieur Yassine MALLEM - Professeur à Oniris
Membres du jury : Monsieur Olivier GAUTHIER - Professeur à Oniris
Monsieur Pierre MAITRE - Maître de conférences à Oniris

Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment		
Responsable : Emmanuel JAFFRES – Adjointe : Frédérique NGUYEN		
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC) Martine KAMMERER (PR émérite)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (MC HDR) Grégoire MIGNOT (MC)	Solenn GAVAUD (CERC)
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC)	Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (MC) Laurent LE THUAUT (MC)
Microbiotech	Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC) Emmanuel JAFFRES (MC)	Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (MC) Raouf TAREB (MC) Quentin PRUVOST (CEC)
PACENV = VET1	Eléonore BOUGUYON (PRAG) Nicolas BROSSAUD (PRAG)	Charlotte MOCQUARD (PRAG) Aurore CLAVEL (PRAG)
Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique		
Responsable : Raphaël GUATTEO – Adjoint : Jean-Michel CAPPELIER		
Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr)	Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségolène CALVEZ (MC HDR) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALES (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr) Pauline MAISONNASSE (CERC)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (AERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr émérite) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Milly LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Louis DELAUNAY (CERC) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr)	Sofia STRUBBIA (MC)

Département DSC Sciences cliniques		
Responsable : Catherine IBISCH – Adjoint : Marion FUSELLIER		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC) Margarida RIBEIRO DA SILVA NEUNLIST (MC Stagiaire)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC HDR)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC) Claire DE FOURMESTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)	Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (AERC)
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Françoise ROUX (Pr) Juan HERNANDEZ-RODRIGUEZ (Pr Ass) Nora BOUHSINA (MC)	Nicolas CHOUIN (MC) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (MCHDR) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) Francis FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr)
Département GPA Génie des procédés alimentaires		
Responsable : Sébastien CURET-PLOQUIN – Adjointe : Vanessa JURY		
Lionel BOILLEREAUX (Pr) Sébastien CURET-PLOQUIN (Pr) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr)	Alain LEBAIL (Pr) Olivier ROUAUD (Pr) Kévin CROUVISIER-URION (MC) Vanessa JURY (Pr) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
PAC-ING	Cyril Gaillard (PCEA)	
Département MSC Management, statistiques et communication		
Responsable : Samira ROUSSELIERE – Adjointe : Véronique CARIOU		
Mathématiques, statistiques, informatique	El Mostafa QANNARI (Pr émérite) Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC stagiaire)	Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Economie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.)
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.)	Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.)

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférence, MCC : MC contractuel,
PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole,
HDR : Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel,
Ens.Cont. : Enseignant Contractuel

La reproduction d'extraits de cette thèse est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- Nom et prénom de l'auteur : Nguyen Dinh Mathilde.
- Année de soutenance : 2023.
- Titre de la thèse : Intérêt d'un tapis d'analyse de la marche dans l'évaluation d'un complément alimentaire chez le chien arthrosique âgé.
- Intitulé du diplôme : Thèse de doctorat vétérinaire.
- Université de soutenance : Faculté de Médecine de Nantes.
- École de soutenance : Oniris : École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique
- Nombre de pages : 142 p.

Table des matières

Table des annexes	9
Table des figures.....	10
Table des tableaux.....	12
Table des abréviations et des sigles.....	13
Introduction.....	16
PARTIE 1 : Étude bibliographique des tapis d'analyse de la marche en médecines vétérinaire et humaine.....	18
I. Outils d'analyse de la marche utilisés dans le domaine vétérinaire	18
A. Généralités	18
1. Définitions.....	19
2. Types de capteurs	19
B. Accélérométrie	21
1. Description et fonctionnement	21
a) Définition.....	21
b) Histoire de l'accélérométrie.....	21
c) Description de l'objet	21
d) Types d'accélérométries	22
2. Paramètres mesurés.....	23
3. Utilisations en médecine vétérinaire	23
4. Avantages et inconvénients.....	24
C. Plaques de force	25
1. Principe de fonctionnement général.....	25
a) Définition.....	25
b) Description du système.....	25
2. Paramètres mesurés.....	26
3. Utilisations en médecine vétérinaire	29
4. Avantages et limites	29
D. Tapis à capteurs de pression.....	30
1. Description et fonctionnement des tapis	30
2. Les différents modèles	32
a) Tapis classiques	32
(1) GaitRite®	32
(2) Canid Gait® (Zebris Medical®)	33
(3) Tekscan™	33
b) Système Hoof™ (Tekscan™).....	34
c) CatWalk™ XT (Noldus)	36
3. Paramètres mesurés.....	38

4.	Utilisations	44
5.	Avantages et inconvénients	46
6.	Focus sur le système Walkway (Tekscan™)	47
a)	Description et fonctionnement du tapis	47
b)	Calibrage – étalonnage	48
c)	Logiciel de traitement des données : Walkway 7.6 software	48
d)	Paramètres mesurés et calculés	50
e)	Paramètres de run	50
f)	Paramètres de membre	51
g)	Paramètres de symétrie	52
E.	Comparaison des plaques de force et des tapis à capteurs de pression	53
II.	Utilisations des outils d'analyse de la marche en humaine	54
	Conclusion sur les systèmes d'analyse de la marche.....	57
	PARTIE 2 : Étude expérimentale	58
I.	Objectifs de l'étude clinique	58
II.	Considérations éthiques	59
III.	Matériels et méthodes	59
A.	Protocole et déroulement de l'étude.....	59
1.	Choix des animaux.....	59
2.	Traitements annexes.....	60
3.	Complément alimentaire évalué.....	60
4.	Déroulement des visites	63
B.	Suivi clinique	69
1.	Examens clinique et orthopédique	69
2.	Score BCS (Body Condition Score).....	70
3.	Échelle NRS (Numeric Rating Scale).....	70
4.	Échelle VAS (Visual Analogic Scale)	71
5.	Questionnaire LOAD (Liverpool Osteoarthritis in Dogs)	72
C.	Suivi biologique	73
1.	Analyses biochimiques	73
2.	Ionogrammes.....	73
3.	Analyses urinaires	73
4.	Analyses des biomarqueurs.....	75
D.	Suivi fonctionnel	76
1.	Tapis d'analyse de la marche : Walkway (Tekscan™).....	76
a)	Paramètres retenus pour l'étude.....	77
b)	Normalisation au poids	77
c)	Acquisition des données	77
d)	Sélection des runs	78
2.	Collier d'activité	79
E.	Critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion des animaux.....	80
1.	Critères d'inclusion	80
2.	Critères de non-inclusion	80

3.	Retrait des animaux en cours d'étude	80
4.	Identification des animaux	81
F.	Statistiques	81
IV.	Résultats.....	82
A.	Recrutement des chiens.....	82
B.	Profil des chiens inclus	82
C.	Tolérance du complément alimentaire évalué.....	83
1.	Examens cliniques.....	83
2.	Acceptabilité du complément alimentaire évalué	83
3.	Effets indésirables	84
4.	Variations pondérales	84
D.	Résultats cliniques.....	85
1.	Score LOAD	85
2.	Scores vétérinaires : BCS, VAS, NRS	86
a)	Score BCS.....	86
b)	Échelle NRS.....	87
c)	Échelle VAS.....	87
E.	Résultats biologiques	88
1.	Analyses biochimiques et ionogrammes.....	88
2.	Analyses urinaires	90
3.	Analyses des biomarqueurs.....	92
a)	Protéine C-réactive (CRP).....	92
b)	Carboxy-Terminal Collagen Crosslinks de type 1 (CTX1)	93
F.	Résultats fonctionnels	94
1.	Analyse cinétique de la démarche à l'aide du tapis Walkway de Tekscan™ corrélée à l'examen orthopédique	94
a)	Chien 01-01 : Tisca.....	94
b)	Chien 01-02 : Gigi	96
c)	Chien 01-03 : Loulou.....	97
d)	Chien 01-04 : Infiniti	99
e)	Chien 01-05 : Queni.....	101
f)	Chien 01-06 : Icar	102
2.	Activité quotidienne.....	104
V.	Discussion.....	106
A.	Chiens recrutés	106
B.	Tolérance et observance du complément alimentaire évalué.....	106
C.	Pertinence des scores	107
D.	Pertinence des paramètres mesurés.....	107
E.	Résultats fonctionnels	108
F.	Conclusion de l'étude clinique.....	110
	Conclusion.....	111
	Bibliographie	112
	Annexes	123

Table des annexes

Annexe 1 : Indices de condition corporelle chez les chiens d'après WSAVA 2013	123
Annexe 2 : Questionnaire LOAD distribué aux propriétaires.....	124
Annexe 3 : Exemple d'une fiche de calcul de ration avec ajout du produit testé distribuée aux propriétaires	130
Annexe 4 : Fiches de scores NRS et VAS.....	131
Annexe 5 : Protocole récapitulatif de l'étude distribué aux propriétaires.....	132

Table des figures

Figure 1 : Méthode de plateforme de marche manuelle [2].....	19
Figure 2 : Photographies des accéléromètres Actical® (à gauche), PetPace® (au centre) et Actigraph® (à droite) placés sur un collier d'après [11]	22
Figure 3 : Schéma d'un plateau de force avec représentation des forces mesurables en trois dimensions [35].....	25
Figure 4 : Graphique représentant les forces verticales chez un chien sain [34].....	27
Figure 5 : Schéma descriptif des forces de réaction sur une plaque de force [34].....	28
Figure 6 : Schéma d'un capteur de pression utilisé dans le tapis de chez Tekscan™ [48].....	30
Figure 7 : Exemple d'un tapis statique à capteurs de pression [49]	30
Figure 8 : Fonctionnement d'un tapis roulant	31
Figure 9 : Tapis GAITFour® Walkway (à droite) et tapis roulant GAIT4Dog® (à gauche) [9]	33
Figure 10 : Tapis FDM TPROF Canid Gait® de Zebris Medical® [49]	33
Figure 11 : Strideway™ de chez Tekscan [48]	34
Figure 12 : Photographie du système Hoof™ [52].....	35
Figure 13 : Représentation schématique du système Hoof™ de Tekscan™ [52].....	35
Figure 14 : Répartition de la pression exercée sur un sabot de cheval avec le système Hoof™ (Tekscan™) [53]	36
Figure 15 : Système CatWalk™ de Noldus [54].....	36
Figure 16 : Schéma illustrant la technologie des empreintes lumineuses [54].....	37
Figure 17 : Enregistrement d'un passage sur CatWalk™ [54]	37
Figure 18: Paramètres obtenus avec le système GAITFour® [9].....	40
Figure 19 : Score GLS de chez GaitRite® [9].....	41
Figure 20 : Exemple de graphiques générés par le logiciel Animal Analysis Suite de Canid Gait® représentant la répartition de la pression chez un bipède (pied gauche en rouge, pied droit en vert) [49].....	41
Figure 21 : Visualisation de la répartition des empreintes d'un rongeur et calculs de paramètres sur le logiciel CatWalk™ XT [54].....	42
Figure 22 : Visualisation en direct de la pression des pas en 3 dimensions sur le logiciel Animal Analysis Suite [49].....	42
Figure 23 : Représentation d'un diagramme papillon chez un chien [56].....	43
Figure 24 : Diagramme à barres représentant les paramètres de force [49]	43
Figure 25 : Walkway HRV4® d'Oniris (©Mathilde Nguyen Dinh)	47
Figure 26 : Capteur Tekscan® d'après [48].....	48
Figure 27 : Visualisation des empreintes et graphiques générés par le logiciel Walkway [48]	49
Figure 28 : Attribution d'une couleur par membre selon le logiciel Walkway (d'après Etsy).....	50
Figure 29 : Exemple de tableau des paramètres de run [48]	50
Figure 30 : Exemple de tableau des paramètres de membre [48]	51
Figure 31 : Exemple de tableau des paramètres de symétrie [48]	52
Figure 32 : Exemples de plateformes à capteurs de pression utilisées en humaine (Tekscan™) [48]	54
Figure 33 : RehaWalk® de Zebris Medical® [100].....	55
Figure 34 : F-Scan de chez Tekscan™ [48]	55
Figure 35 : Tenebrio molitor adulte [117].....	60
Figure 36 : Vers de farine [118]	60

Figure 37 : Sachet contenant le produit à évaluer (©Mathilde Nguyen Dinh)	62
Figure 38 : Cahier de suivi utilisé au cours de l'étude par les propriétaires (©Mathilde Nguyen Dinh)	64
Figure 39 : Exemple de prescription et de tableau de suivi (©Mathilde Nguyen Dinh)	66
Figure 40 : Frise chronologique du déroulé de l'étude (©Mathilde Nguyen Dinh)	68
Figure 41 : Échelle VAS de boiterie utilisée durant l'étude (annexe 4)	71
Figure 42 : Photo du Walkway HRV4® utilisé dans le cadre de l'étude (©Mathilde Nguyen Dinh)	76
Figure 43 : Photo du matériel associé au Walkway (©Mathilde Nguyen Dinh).....	78
Figure 44 : Exemple de tracé établi au cours d'un run chez un chien avec le Walkway de Tekscan™ (©Martial Masson).....	78
Figure 45 : Collier d'activité PitPat et son application associée (©Amazon)	79
Figure 46 : Graphique de l'évolution du poids des chiens inclus au cours des visites	85
Figure 47 : Graphique de l'évolution des scores LOAD des chiens inclus au cours de l'étude	86
Figure 48: Diagramme en boîte de la répartition des taux de CTX1 selon les visites	93
Figure 49 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-01 au cours de l'étude	95
Figure 50 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-02 au cours de l'étude	96
Figure 51 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-03 au cours de l'étude	98
Figure 52: Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-04 au cours de l'étude	100
Figure 53 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-05 au cours de l'étude	101
Figure 54 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-06 au cours de l'étude	103
Figure 55 : Évolution de l'activité totale quotidienne avant et après supplémentation	105

Table des tableaux

Tableau I : Tableau récapitulatif des différents outils à capteurs de pression associés à des exemples d'utilisations.....	46
Tableau II : Comparaison des plaques de forces et des tapis à capteurs de pression.....	53
Tableau III : Critères de début de la période gériatrique chez les chiens d'après Goldston et Hoskins [116]	59
Tableau IV : Profil nutritionnel du complément alimentaire évalué.....	61
Tableau V : Table de dosage du nutriment selon le poids du chien.....	62
Tableau VI : Critères de gradation de la boiterie utilisés au cours de l'étude	69
Tableau VII : Indices de condition corporelle associés aux pourcentages de graisse corporelle et de surcharge pondérale [119].....	70
Tableau VIII : Caractéristiques des scores NRS	71
Tableau IX : Caractéristiques des chiens recrutés au cours de l'étude	82
Tableau X : Dates des visites des animaux au cours de l'étude.....	83
Tableau XI : Évolution du poids des chiens au cours de l'étude	84
Tableau XII : Évolution des scores BCS au cours de l'étude	86
Tableau XIII : Évolution des scores NRS de boiterie et de douleur au cours de l'étude	87
Tableau XIV : Évolution des scores VAS au cours de l'étude	88
Tableau XV : Valeurs usuelles des paramètres biochimiques et de l'ionogramme sanguin chez le chien	88
Tableau XVI : Données des analyses biochimiques et des ionogrammes sanguins des animaux inclus	89
Tableau XVII : Valeurs usuelles des paramètres urinaires chez le chien	90
Tableau XVIII : Données des analyses urinaires des animaux inclus.....	91
Tableau XIX : Résultats des dosages des CRP au cours de l'étude.....	92
Tableau XX : Résultats du dosage des CTX1 au cours de l'étude.....	93
Tableau XXI : Moyenne des données de l'activité quotidienne des chiens inclus récoltées par le collier d'activité au cours de l'étude	104

Table des abréviations et des sigles

AINS : Anti-Inflammatoire Non Stéroïdien
ALAT : alanines transférases
Alb : albumine
AMTI : Advanced Mechanical Technology
AQUAM : Analyse Qualitative des Anomalies de la Marche
AVC : Accident Vasculaire Cérébral
BCS : Body Condition Score
BW : Body Weight
BWD : Body Weight Distribution
Chol : cholestérol
CHUV : Centre Hospitalier Universitaire Vétérinaire
Cl : chlore
cm : centimètre
COP : center of pressure
Creat : créatinine
CRP : protéine C-reactive
csv : comma separated value
CTX1 : Carboxy-Terminal Collagen Crosslink de type 1
DLUO : Date Limite d'Utilisation Optimale
DPO : Day Post-Operative
DU : densité urinaire
EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra-acétique
fps : frame per seconde
Glu : glucose
GLS ® : GAIT4Dog Lameness Score
GRF : Ground Reaction Forces
Hb : hémoglobine
HD : haute définition
Hz : hertz
K : potassium
kg : kilogramme
LED : Light-Emitting Diode
LOAD : Liverpool Osteoarthritis in Dogs
N : Newton
Na : sodium
NRS : Numeric Rating Scale
OCR : Oncovet Clinical Research
P : phosphates
Pa : Pascal
PAL : phosphatases alcalines
pH : potentiel Hydrogène

PrOP : Pré-Opératoire
PVF : Peak Vertical Force
TPI : Total Pressure Index
TPLO : Tibia Plateau Leveling Osteotomy
VAS : Visual Analogic Scale
VI : Vertical Impulse
WSAVA : World Small Animal Veterinary Association

Introduction

Depuis l'Antiquité, l'analyse de la marche a toujours présenté un intérêt chez l'humain, dans le but de découvrir la physiologie et les mécanismes du mouvement.

L'analyse de la marche chez les animaux est plus récente puisqu'il a fallu adapter les appareils à leurs caractéristiques de quadrupèdes. Elle était d'abord limitée à l'observation et à la photographie. À la fin du XVII^{ème} siècle, le médecin physiologiste italien G. Borelli « *De motu animalum* » s'intéresse à la locomotion des animaux et à la dynamique du mouvement. Puis au XIX^{ème} siècle, le britannique E. Muybridge et le français EJ. Marey étudient la démarche animale grâce à l'utilisation de techniques photographiques chez diverses espèces. Les données étaient restreintes par le peu d'outils disponibles et les difficultés d'interprétation. Au début du XX^{ème} siècle, le concepteur de prothèses J. Amar élabore un trottoir dynamographique, ancêtre du plateau de force mis au point par H. Elftman quelques années plus tard. En 1987, SC. Budsberg a utilisé pour la première fois une plaque de force chez le chien sain [1].

Avec le développement de l'informatique et des logiciels à la fin du XX^{ème} siècle, les techniques ont évolué et le temps d'analyse pour les données a été réduit. Depuis, les outils sont plus simples d'utilisation et les résultats plus précis. Au cours des dernières années, l'équipement est devenu plus abordable et son utilisation, d'abord dans le cadre de la recherche, s'est également développée dans la pratique quotidienne.

L'étude de la marche est actuellement utilisée pour visualiser les altérations de son cycle et diagnostiquer des anomalies dans le domaine médical. Dans le monde du sport, elle présente également un intérêt chez les professionnels pour optimiser et augmenter les performances sportives.

Deux catégories sont distinguées pour l'étude du mouvement : la cinématique et la cinétique.

La cinématique est l'étude du mouvement pendant la marche, sans se focaliser sur les forces. Les techniques de cinématique furent surtout développées au cours des deux derniers siècles avec l'observation directe ou différée par photographie, la cinématographie et la vidéographie. L'étude des angles aussi nommée goniométrie a également beaucoup été utilisée pour connaître les amplitudes articulaires au cours des différentes phases du mouvement. Enfin, l'accélérométrie est toujours utilisée actuellement pour l'étude de l'activité spontanée de l'animal.

La cinétique correspond à l'étude des forces appliquées au cours du mouvement. Elle a été développée plus récemment contrairement à la cinématique et est mesurée par des plaques de force ou des tapis à capteurs de pression évoqués ultérieurement dans la thèse.

Ce travail a pour but de mesurer l'intérêt d'utiliser un tapis d'analyse de la démarche dans une étude évaluant un nouveau complément alimentaire destiné aux chiens âgés arthrosiques.

Dans la première partie, nous ferons une étude bibliographique sur les outils d'analyse de la marche en se focalisant sur l'application dans le domaine vétérinaire. L'accélérométrie, les plaques de force puis les tapis à capteurs de pression seront ensuite décrits avec une attention particulière sur le tapis utilisé au cours de notre étude. Puis, un chapitre sur les tapis d'analyse utilisés en humaine sera évoqué.

La deuxième partie de cette thèse concerne une étude clinique prospective sur des chiens souffrant d'arthrose, pour lesquels un complément alimentaire encore en développement est testé. Après avoir décrit le protocole de l'étude clinique, nous présenterons les résultats obtenus sur les six chiens recrutés avant de conclure sur l'intérêt de l'utilisation du tapis de marche dans l'évaluation d'un complément alimentaire.

PARTIE 1 : Étude bibliographique des tapis d'analyse de la marche en médecines vétérinaire et humaine

I. Outils d'analyse de la marche utilisés dans le domaine vétérinaire

Dans cette partie, les généralités sur les outils d'analyse de la marche seront tout d'abord abordées. Ensuite, les principaux instruments utilisés de nos jours en médecine vétérinaire seront traités. Il s'agit des accéléromètres, des plaques de forces et des tapis à capteurs de pression. Un des modèles de tapis à capteurs de pression a d'ailleurs été utilisé par la suite dans notre étude clinique.

A. Généralités

Des difficultés sont présentes en médecine vétérinaire pour obtenir des données quantifiables et objectives des anomalies de la marche des animaux. En effet, les scores vétérinaires établis par le clinicien sont peu reproductibles et les examens cliniques et orthopédiques sont parfois imprécis pour détecter et évaluer une boiterie.

Grâce à l'utilisation d'outils non invasifs, l'analyse de la marche est une technique rapide, reproductible et objective. Elle permet le recueil de données et une comparaison des paramètres obtenus.

La première technique utilisée chez les rongeurs était la plateforme de marche manuelle. Après application d'encre sur les pattes, l'animal était attiré par un appât placé à l'extrémité afin de marcher le long d'un papier millimétré. Les paramètres de marche tels que la longueur et la largeur de foulée ou de l'empreinte étaient déduits grâce à la mesure des empreintes imprimées sur le papier. Les zones d'empreintes étaient très variables car la quantité d'encre était différente pour chaque passage [2].

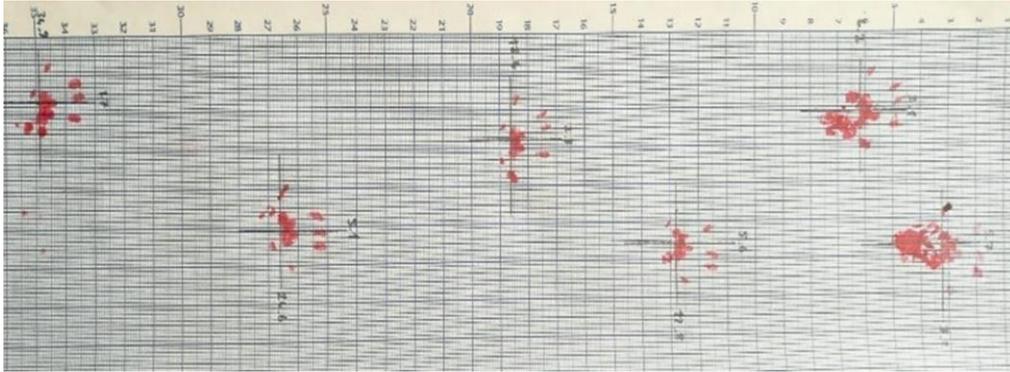


Figure 1: Méthode de plateforme de marche manuelle [2]

Des méthodes moins chronophages et plus fiables ont ensuite été développées avec un recours à la vidéographie puis à des passerelles portables équipées d'interrupteurs activés par pression. Une meilleure analyse des paramètres spatio-temporels est possible grâce à l'arrivée du système informatique et des capteurs de pression intégrés aux plateformes [3].

1. Définitions

Un **capteur** est un dispositif qui mesure une quantité physique et la traduit en un signal plus facilement exploitable tel qu'un signal électrique ou optique [4].

La **pression** désigne la force exercée en Newton (N) sur une surface en mètre carré (m²). Son unité de mesure dans le système international est le Pascal (Pa), mais il existe de nombreuses autres unités telles que le Bar ou la Livre-force par pouce carré aussi nommée psi. Elle est calculée par la formule suivante :

$$Pression (Pa) = \frac{Force (N)}{Surface (m^2)}$$

Équation : Formule fondamentale de la pression

Un **capteur de pression** est un instrument destiné à convertir les variations de pression appliquées au capteur en un signal électrique mesurable [5]. Il s'agit de l'élément de base constituant le tapis de marche.

2. Types de capteurs

Il existe différents modèles de capteur.

Premièrement, le capteur à **jauge de contrainte** ou **jauge de déformation** est l'un des plus anciens mais reste encore amplement utilisé. La pression exercée déforme le capteur et conduit à une variation de sa résistance. La force appliquée est alors convertie en résistance électrique, mesurée par un pont de Wheatstone. Le signal électrique est ensuite amplifié afin d'acquérir des données exploitables [6].

Cet assemblage techniquement simple est aussi nommé **capteur résistif**. Il présente l'avantage d'être résistant aux chocs et par conséquent plus durable. Une large amplitude des pressions détectées (de quelques dizaines de kilopascals à une centaine de mégapascals) et une très bonne sensibilité sont également des caractéristiques de ces capteurs [7]. La nécessité d'une alimentation électrique et un faible signal de sortie sont les inconvénients majeurs de ces capteurs. Après plusieurs utilisations, un étalonnage des jauges est indispensable pour le maintien de la précision [8].

Deuxièmement, le **capteur de pression capacitif** fonctionne comme un condensateur. En électricité, il s'agit d'un dipôle électrique composé de deux plaques conductrices rapprochées mais séparées par un isolant. Le courant électrique continu accumule les charges de signes opposés sur chacune des plaques : c'est l'effet capacitif. Dans ce système, le capteur constitue une plaque et l'objet à mesurer la seconde plaque. La pression est exercée sur une plaque qui se déforme et agit alors comme un diaphragme. Ce mouvement entraîne une variation de la capacité électrique, mesurable et amplifiable [7].

Également simple d'un point de vue technique, ce capteur est robuste et fonctionne sur une large gamme de pressions (0,250 kPa à 70 MPa). Utilisable hors tension, il est de faible puissance. Cependant ce type de capteur sensible aux vibrations nécessite un positionnement à proximité de son interface afin de réduire la capacité parasite.

Le **capteur de pression piézoélectrique** repose sur le principe physique de la piézoélectricité. Suite à l'application d'une contrainte mécanique, certaines matières ont la capacité de se polariser électriquement. Ce capteur de pression est constitué d'un cristal piézoélectrique tel que le quartz ou encore de céramiques synthétiques. La compression génère un courant électrique proportionnel à la déformation du capteur [9].

Ces capteurs mesurent des pressions sur de grandes amplitudes (de 0,7 kPa à 70 MPa). Ils sont légèrement moins précis que les capteurs résistifs mais peuvent être utilisés à faible puissance. De taille miniature, ils influent peu sur la structure du tapis et ne nécessitent pas de recalibration avec le temps [8].

Les trois sortes de capteurs présentés sont techniquement simples de par leur construction, donc peu onéreux mais également robustes. Ils permettent de mesurer une grande gamme de pression.

B. Accélérométrie

1. Description et fonctionnement

a) Définition

L'accélérométrie correspond à l'étude des variations d'accélération d'un objet. L'objectif est de suivre une activité telle que l'activité physique ainsi que ses changements d'intensité dans le domaine de la recherche ou en clinique.

b) Histoire de l'accélérométrie

L'accélérométrie a d'abord été développée pour les activités humaines. Son invention remonte au début du XX^{ème} siècle dans le domaine militaire pour mesurer les fréquences de vibration et les accélérations. Depuis, l'accélérométrie est davantage disponible dans divers domaines tels que l'industrie, la vie quotidienne avec des accéléromètres miniaturisés ou en médecine (modification d'activité physique chez les patients atteints de pathologies neuromusculaires, mesure des dépenses énergétiques chez les sportifs ...).

En médecine vétérinaire, l'accélérométrie est présente depuis une quinzaine d'années. La première étude remonte à 2007 où Hansen et ses collaborateurs ont comparé les mesures vidéographiques et accélérométriques chez des chiens sains afin de déterminer leurs corrélations. Ces travaux ont permis de conclure que l'accéléromètre était le meilleur moyen de suivre l'activité quotidienne des chiens à la maison par exemple dans le cadre de traitements [10].

c) Description de l'objet

L'accéléromètre est constitué d'un capteur fixé à un objet qui permet une mesure immédiate de la force d'accélération en mètres par seconde carré (m/s^2) ou en g. Il repose sur le principe physique de la loi fondamentale de la dynamique appelé aussi deuxième loi de Newton. Celle-ci stipule que la force résultante sur un objet est toujours égale au produit de la masse de l'objet en question par son accélération. L'instrument capte les vibrations engendrées par le déplacement, les changements de vitesse ou de direction mais également les chocs appliqués à l'objet. La deuxième partie de l'appareil est électronique et permet une transformation de l'accélération mesurée par la partie mécanique en un phénomène physique quantifiable électriquement. Le déplacement et l'accélération de l'objet sont liés à une fréquence déterminée en hertz (Hz). Plus l'accélération est rapide, plus la fréquence est élevée. Ceci correspond à la définition de la fréquence déterminée par le nombre d'oscillations d'un phénomène périodique par unité de temps. Une bande passante équivalente à la plage de fréquences dans laquelle le capteur fonctionne nominalement est à définir afin de le caractériser.

La force d'accélération peut être mesurée dans un plan, c'est l'accélérométrie uni-axiale, dans deux plans pour l'accélérométrie bi-axiale ou trois plans pour l'accélérométrie tri-axiale. Ce dernier est le plus fréquemment utilisé et est constitué d'un assemblage de trois accéléromètres pour obtenir les

accélérations de l'axe dorso-ventral, de l'axe antéro-postérieur et de l'axe latéro-latéral pour une estimation plus précise du mouvement de l'animal.

La mesure est soit positive si l'accélération agit dans la même direction que le capteur, soit négative si la direction est opposée.

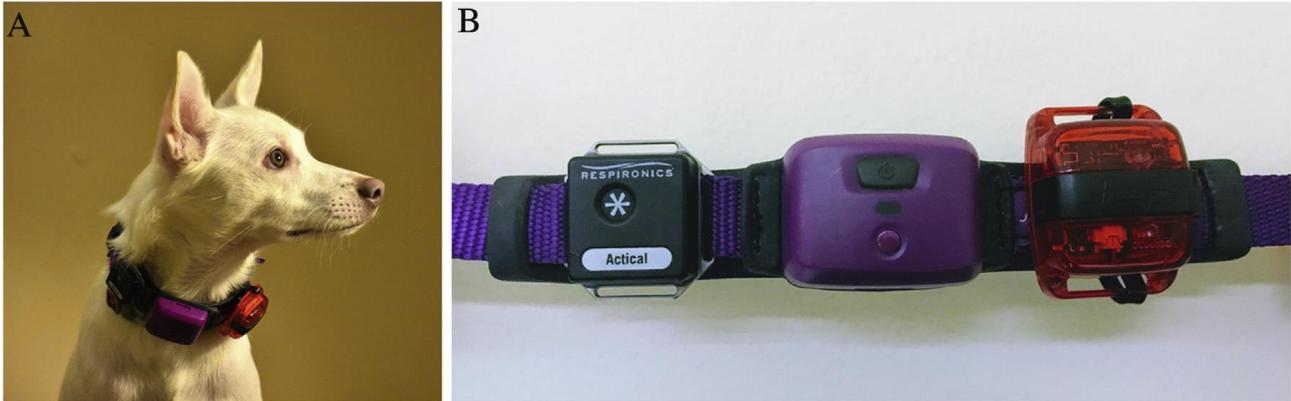


Figure 2 : Photographies des accéléromètres Actical® (à gauche), PetPace® (au centre) et Actigraph® (à droite) placés sur un collier d'après [11]

d) Types d'accélérométries

Il existe différents types de capteurs mesurant directement ou indirectement la force par déplacement ou déformation [12].

Les accéléromètres capacitifs sont composés de deux condensateurs et d'un poids mobile placé sur des ressorts. Une force appliquée au capteur induit un déplacement du poids sur les ressorts et une modification de la distance entre les plans de condensation et la masse. Cela provoque une variation de la capacité proportionnelle à l'accélération. Ils sont utilisés plus particulièrement dans les appareils du grand public en électronique en raison de leur faible précision.

Le principe de l'accéléromètre piézoélectrique repose sur les propriétés du matériau contenu dans le capteur. En effet, la déformation du cristal (quartz ou certaines céramiques) provoque un chargement électrique. Par conséquent, suite à une accélération, les vibrations émises génèrent une tension électrique proportionnelle à la force appliquée. Ces accéléromètres sont répandus et leurs applications sont souvent dans le domaine de l'industrie pour le contrôle des machines par exemple.

Le dernier est l'accéléromètre piézorésistif. Lors de l'application d'une force sur le matériau, ce dernier se déforme, provoquant alors un changement de résistance converti ensuite en un signal électrique utilisable. Cet accéléromètre présente de larges bandes de mesures pour enregistrer des vibrations d'amplitudes et des fréquences élevées. Il permet de capter des signaux à évolution lente mais pas ceux de faibles fréquences.

2. Paramètres mesurés

Dans le domaine vétérinaire, ces petits appareils sont attachés aux membres, au sternum ou au cou de l'animal par un collier ou un harnais (figure 2). Ils transmettent des données sur l'accélération au cours du mouvement envoyées par télémetrie.

Peu d'accéléromètres ont été étudiés et validés pour l'utilisation vétérinaire. L'Actical® (Mini Mitter Company) a été validé sur des chiens sains en 2011 par Michel et Brown [13]. Positionné sur un collier, l'instrument est tri-axial, omnidirectionnel et permet une surveillance de l'activité physique générale à domicile des animaux domestiques. Une distinction d'intensités d'activités différencie l'immobilité d'une activité légère ou d'une activité modérée. L'inconvénient majeur de cet outil réside dans la transmission des données car le moniteur doit être régulièrement retiré de l'animal et positionné sur un lecteur.

Le collier Heyrex® (Say Systems) est un autre exemple d'accéléromètre validé par Mejia *et al.* chez le chien dans l'étude de 2019 [14]. Il est utilisé pour enregistrer l'activité physique, le comportement, un suivi post-opératoire ou l'évaluation d'un traitement. Les données sont transmises par Wi-Fi, facteur limitant en cas d'absence de connexion internet.

D'autres dispositifs ont également été validés comme PetPace® [11] ou l'Actigraph GT3-X® (Actigraph) [15]. Dans ces études les capteurs sont utilisés majoritairement en recherche ; les contraintes majeures sont l'export et de l'analyse de leurs données. Ils ont pour principal objectif de fournir une mesure efficace, valide de l'activité physique quotidienne des chiens.

Les paramètres souvent retenus dans les études sont l'accélération, le type la durée et l'intensité de l'activité physique et l'énergie dépensée au quotidien par l'animal.

3. Utilisations en médecine vétérinaire

De nombreux animaux ont été équipés de capteurs dans le but d'étudier leurs comportements à travers leurs déplacements. En effet, la plupart des comportements sont définis par des mouvements ou des schémas posturaux quantifiables par accélérométrie [16].

En équine, les accéléromètres sont utilisés pour diverses études sur la locomotion ou pour les disciplines sportives afin d'améliorer les performances des chevaux [17,18].

De même, chez les canidés l'étude de la locomotion demeure le principal sujet d'intérêt des travaux sur l'accélérométrie. Dans le cas d'une boiterie sur une allure symétrique chez un quadrupède, les valeurs d'accélérométrie sont asymétriques. Le membre atteint présente alors une modification d'accélération quantitative. Le membre sain compense, engendrant parfois une modification de ses valeurs. Il est alors impossible de l'utiliser comme témoin sain pour une comparaison. Des études cliniques sur des chiens arthrosiques ont démontré l'intérêt de l'accélérométrie [19–21].

Le dispositif permet également une quantification de l'activité avant et après traitement chirurgical suite à une rupture de ligaments croisés chez les chiens par exemple [22].

Outre le domaine orthopédique, l'accélérométrie peut être utilisée en dermatologie telle que mentionnée dans l'étude sur des essais alimentaires pour des chiens atteints de prurit. Les résultats ont été comparés avec les observations des propriétaires et révèlent une bonne corrélation des données entre l'outil et les constatations visuelles [23,24].

Une autre application dans le domaine de la neurologie a été présentée dans l'étude sur la détection de la phase ictale des crises convulsives chez le chien [25].

L'accéléromètre est également employé comme aide au diagnostic dans divers domaines tels que l'activité physique [26], la prise d'aliment et de boisson ou la dépense énergétique [27]. Des études ont d'ailleurs évalué l'association entre l'obésité et l'activité physique mesurée objectivement chez le chien [28].

4. Avantages et inconvénients

Moyen abordable et simple d'utilisation pour mesurer l'activité physique, l'accélérométrie présente toutefois quelques limites. En effet, tous les comportements ne peuvent être bien décrits. Certains mouvements peuvent également être confondus par des forces externes à celles engendrées par l'animal comme le montre l'étude sur les cormorans [29]. De plus, chez les espèces où la vitesse est constante, il y a peu de variations d'accélération pour analyser les différents types de vols en particulier le vol plané [30]. Un enregistrement à haute fréquence permet une évaluation plus précise de l'activité. Toutefois le boîtier limité en termes de stockage de données nécessite une récupération et une analyse plus rapprochées.

Une association d'outils de mesures pour caractériser les déplacements des animaux est parfois nécessaire. C'est le cas des gyroscopes ou des magnétomètres qui ont la capacité de donner des informations complémentaires sur la rotation angulaire de la patte [16].

Parfois l'accélérométrie est utilisée avec un tapis d'analyse pour multiplier les données sur la marche [31,32].

C. Plaques de force

1. Principe de fonctionnement général

a) Définition

La première plaque de force a été utilisée dans l'étude de SC. Budsberg en 1987 pour étudier les forces au cours du mouvement et leurs relations avec les mesures morphométriques chez des chiens sains [1].

Historiquement, les plateaux de force sont des instruments ayant permis de documenter la cinétique de la démarche chez les animaux sains et boiteux [33,34]. Ils sont destinés à mesurer et quantifier des forces de réaction au sol (aussi nommées GRF pour Ground Reaction Forces) en trois dimensions chez les humains et les animaux. Elles sont définies par les forces égales mais opposées à celles produites lorsque la patte de l'animal interagit avec le sol. C'est la troisième loi de Newton. Contrairement aux tapis à capteurs de pression évoqués précédemment, ce système détermine uniquement les forces d'interaction entre le pied et le sol en phase d'appui dans le cycle de la marche. Il est impossible de déterminer les forces exercées durant la phase de soutien. Les mesures sont objectives, non invasives et réalisées en dynamique [34].

b) Description du système

Les plaques de force sont constituées de nombreux capteurs de force sensibles à la déformation, autrement appelés cellules de charge, et sont reliées à un circuit électrique. En mouvement, le sujet applique une force à l'aide de son pied, ce qui entraîne une déformation de la plaque et par conséquent des capteurs de ceux-ci. La modification crée alors une variation de tension électrique, qui après amplification est collectée par ordinateur. L'instrument est donc utilisé pour convertir une force mécanique en force électrique mesurable plus facilement. Les forces appliquées sur le plateau sont proportionnelles à la variation de tension captée, ce qui permet une mesure précise et objective.

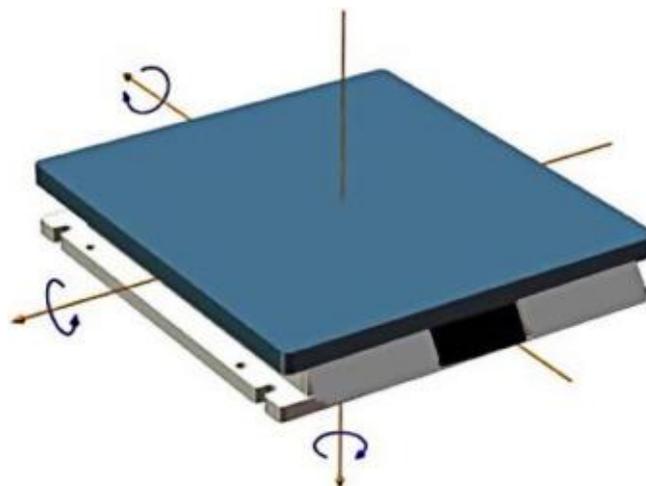


Figure 3 : Schéma d'un plateau de force avec représentation des forces mesurables en trois dimensions [35]

Les trois sortes de capteurs présentés précédemment sont utilisés en fonction des plateaux. Par conséquent, la modification de la tension électrique suite à l'application d'une force se traduit différemment selon les capteurs utilisés. Les systèmes constitués de jauges de contraintes sont les plus employés et mesurent une modification de résistance. Les plateaux comprenant des capteurs capacitifs sont sensibles aux variations de capacité électrique. Enfin, les capteurs formés de cristaux de quartz reposent sur l'effet piézoélectrique et mesurent une modification de courant électrique.

Afin d'obtenir des mesures en trois dimensions, les capteurs sont répartis dans les trois directions de l'espace. Ils sont recouverts d'une plaque supérieure, plane, rigide et antidérapante pour faciliter le déplacement du chien. Le système doit être correctement ancré au sol afin de ne pas modifier les appuis.

L'inconvénient majeur de la plaque de force est l'incapacité de mesurer plusieurs foulées consécutives. C'est la raison pour laquelle il est possible de la coupler à un tapis de marche à capteur de pression [8,33,36].

L'utilisation des plateaux de force repose sur le même principe que celui des tapis à capteurs de pression. Le chien est guidé en laisse le long de la plaque par un opérateur. Un enregistrement vidéographique des sessions est réalisable grâce à une caméra pour être analysée par la suite avec un logiciel tel que le WinFDM de Zebris Medical® [37]. L'obtention de résultats concluants nécessite plusieurs passages de l'animal. L'essai est invalidé si plusieurs pattes sont posées en simultané sur la plaque [34]. C'est pourquoi des passages avec les appuis successifs des quatre membres sont nécessaires. Les données sont enregistrées puis le logiciel génère des courbes de variation des forces en fonction du temps.

2. Paramètres mesurés

Le principal objectif d'un plateau de force est de mesurer les forces de réaction au sol du sujet. Elles sont équivalentes à l'opposé des forces d'appui et sont décomposées selon trois forces de réaction orthogonales comme illustrées sur la figure ci-dessous. Elles dépendent des paramètres morphologiques (le poids, la race et la taille de l'animal) et varient en fonction de la vitesse du sujet [1,38,39].

La première force est nommée F_x et correspond à la force médio-latérale. Elle est très peu utilisée en pratique pour cause de grandes variations et présente la plus faible amplitude des trois forces. La seconde, F_y représente la force antéro-postérieure ou crânio-caudale. Cette force horizontale équivaut aux mouvements de freinage et de propulsion. En effet, elle permet à l'animal d'avancer sans glisser vers l'avant. Elle est mesurée afin de déterminer et de quantifier la force des membres agissant sur la progression avant. La représentation graphique de la force crânio-caudale en fonction du temps est une courbe biphasique dont l'aire sous la courbe correspond à l'impulsion. Elle se décompose en deux parties. Tout d'abord, la décélération ou le freinage, de valeur positive et traduisant l'impulsion nécessaire au chien pour diminuer le mouvement. Dans un second temps, l'accélération (ou la propulsion) de valeur négative correspond à l'impulsion nécessaire pour augmenter le mouvement. Un chien dont la démarche est normale présente une phase d'appui des antérieurs caractérisée la moitié du temps par une décélération et l'autre moitié par une propulsion. Pour les postérieurs, la décélération représente 35% du temps d'appui tandis que 65% du temps concerne la propulsion. Chez un chien ayant une affection locomotrice, en particulier une boiterie, une diminution de l'amplitude

de ces forces est notée. Enfin F_z intitulée force verticale correspond à la troisième force. Elle est corrélée au poids du sujet. Il s'agit de la force la plus importante dans l'étude de la locomotion. Elle est biphasique et de valeur positive (figure 4). Les courbes de forces des membres postérieurs et antérieurs sont en forme de « m » ou parfois présentent un pic unique. Le premier pic illustre la force maximale de la patte au début de la phase d'appui lorsqu'elle touche la plaque. Le second pic reflète la force maximale de la patte en propulsion, c'est-à-dire à la fin de la phase d'appui lorsque les phalanges touchent le sol. La force minimale entre les deux pics coïncide avec le renversement de la patte, période entre la décélération et la propulsion. En cas de trouble locomoteur, cette force est nettement diminuée. Au trot, la force verticale est monophasique due à la rapidité du mouvement [38].

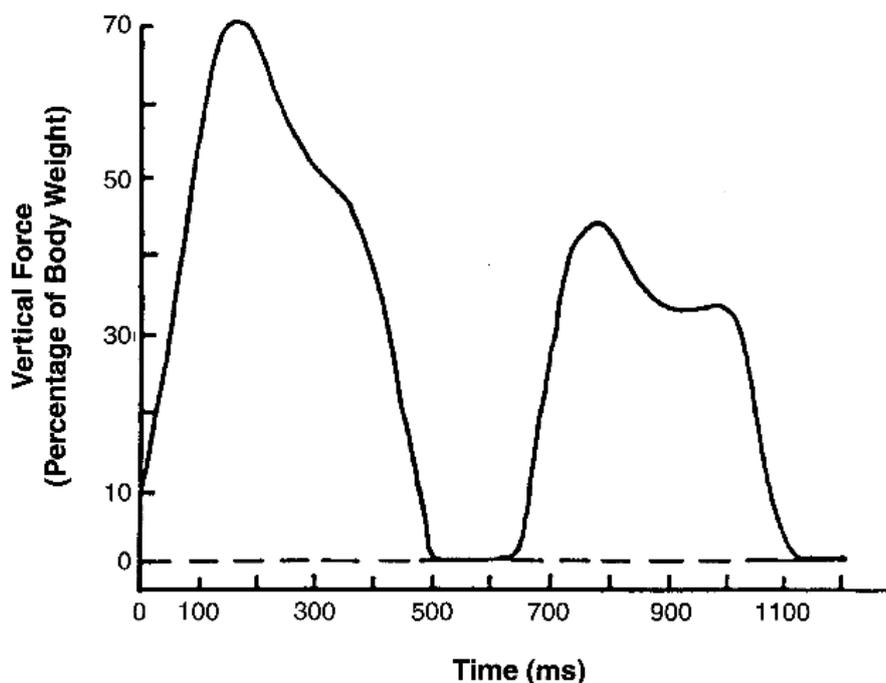


Figure 4 : Graphique représentant les forces verticales chez un chien sain [34]

Les trois forces décrites sont des vecteurs et peuvent se décomposer en neuf paramètres [8] :

- La direction de la force avec les paramètres orthogonaux F_x , F_y , F_z
- La position du vecteur avec les paramètres spatiaux x , y , z
- Le moment de la force avec les paramètres M_x , M_y , M_z

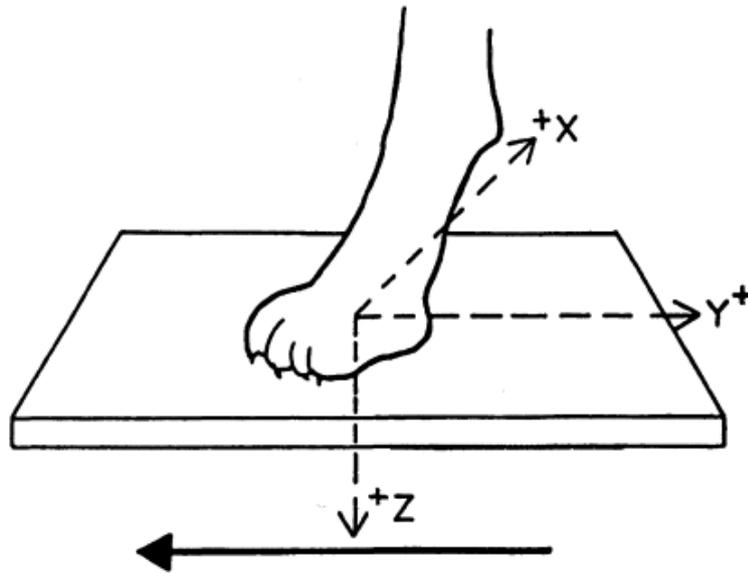


Figure 5 : Schéma descriptif des forces de réaction sur une plaque de force [34]

En pratique, les forces de réaction au sol sont utilisées pour l'analyse de la démarche de sujets sains ou boiteux puisqu'elles présentent une sensibilité et une spécificité de plus de 90% selon l'étude de Fanchon [40]. Les forces verticales sont davantage employées dans les essais cliniques [41]. Tout d'abord, la force verticale maximale aussi nommée PVF pour Peak Vertical Force (ou PFz) représente la charge maximale de la patte pendant la phase d'appui. Ensuite, le second paramètre fréquemment utilisé est l'impulsion verticale (VI ou IFz) définie comme l'aire sous la courbe de la force en fonction du temps ou le produit de la force par le temps d'appui. En cas d'atteinte locomotrice, ces deux variables sont affectées avec une diminution de leurs valeurs.

En utilisant une plaque de force, d'autres paramètres peuvent présenter un intérêt. C'est le cas de l'étude des moments (M_x , M_y et M_z), résultants d'un effet de rotation d'une force, ou des centres de pressions (COP) définis comme l'endroit où la force de réaction au sol verticale est centrée sous le pied. Ce dernier paramètre a été utilisé pour évaluer l'équilibre en humaine.

De même, la force moyenne et le pourcentage de charge et de décharge du membre sont des paramètres mesurés en recherche. Grâce à l'enregistrement vidéographique, des données concernant la vitesse (vitesse du sujet, vitesses angulaires), les angles d'articulation ou des données temporelles peuvent être acquises [34]. D'autres mesures moins utiles en médecine vétérinaire telles que le coefficient de friction sont également obtenues [8].

Les données sont collectées pendant une période et une fréquence définies. Les résultats obtenus par les logiciels informatiques diffèrent selon les marques. Ils sont représentés par des graphiques qui montrent l'évolution des forces de réaction au sol de la phase d'appui en fonction du temps. La transformée de Fourier est une méthode mathématique utilisée pour le traitement des données collectées afin de transcrire en courbes les signaux obtenus des forces [34]. Les forces sont exprimées en Newton et sont normalisées pour éliminer toute variation intra ou inter-individuelle. La normalisation se rapporte au poids corporel du sujet (en % BWD pour Body Weight Distribution) ou à sa taille au garrot pour la force verticale. La standardisation élimine les fluctuations de poids pour un même chien et permet une comparaison entre différents sujets [8].

3. Utilisations en médecine vétérinaire

Les plaques de forces ont été initialement développées en médecine humaine avant d'être utilisées pour l'étude de la démarche normale chez le chien sain [1]. Des études ont permis de démontrer la reproductibilité des mesures et de déterminer les facteurs de variations pouvant impacter les forces de réaction au sol [42] ; d'autres se sont focalisées sur l'influence des races de chiens sur ces paramètres [43]. Cependant ces instruments sont majoritairement utilisés dans les troubles de la démarche pour des pathologies affectant la symétrie. Ils permettent une analyse précise des membres en amont et en aval d'une thérapie ou d'une chirurgie. C'est le cas notamment pour les atteintes des ligaments croisés chez des animaux arthrosiques ou dysplasiques [37,40,44].

Différentes marques de plateformes sont utilisées en recherche telles que les modèles de Kistler Instrumente AG retrouvés dans les études [42,43,45]. Des plaques de force de la marque Advanced Mechanical Technology (AMTI) sont également employées dans d'autres travaux [41,46].

4. Avantages et limites

Les plateaux de forces sont sensibles et durables. Si les animaux restent dans une gamme de forces mesurables par le système, ils ne nécessitent pas de nouvelles calibrations [34]. Toutefois, une application de force trop lourde peut endommager les capteurs de manière permanente. L'impossibilité de réaliser des mesures sur plusieurs membres en simultané est un inconvénient qui peut néanmoins être contré par un assemblage avec un tapis à capteurs de pression ou avec plusieurs plaques de force regroupées. De plus, les plateaux de force sont non spécifiques d'un membre ou d'une articulation et un contrôle de la vitesse lors du passage du chien est nécessaire pour ne pas influencer sur le pic de force vertical [47].

D. Tapis à capteurs de pression

1. Description et fonctionnement des tapis

Les tapis à capteurs de pression sont composés de nombreuses unités basées sur l'une des technologies de capteurs décrites dans le paragraphe précédent. La taille et le nombre de capteurs sont variables pour obtenir une sensibilité et une précision adaptées.

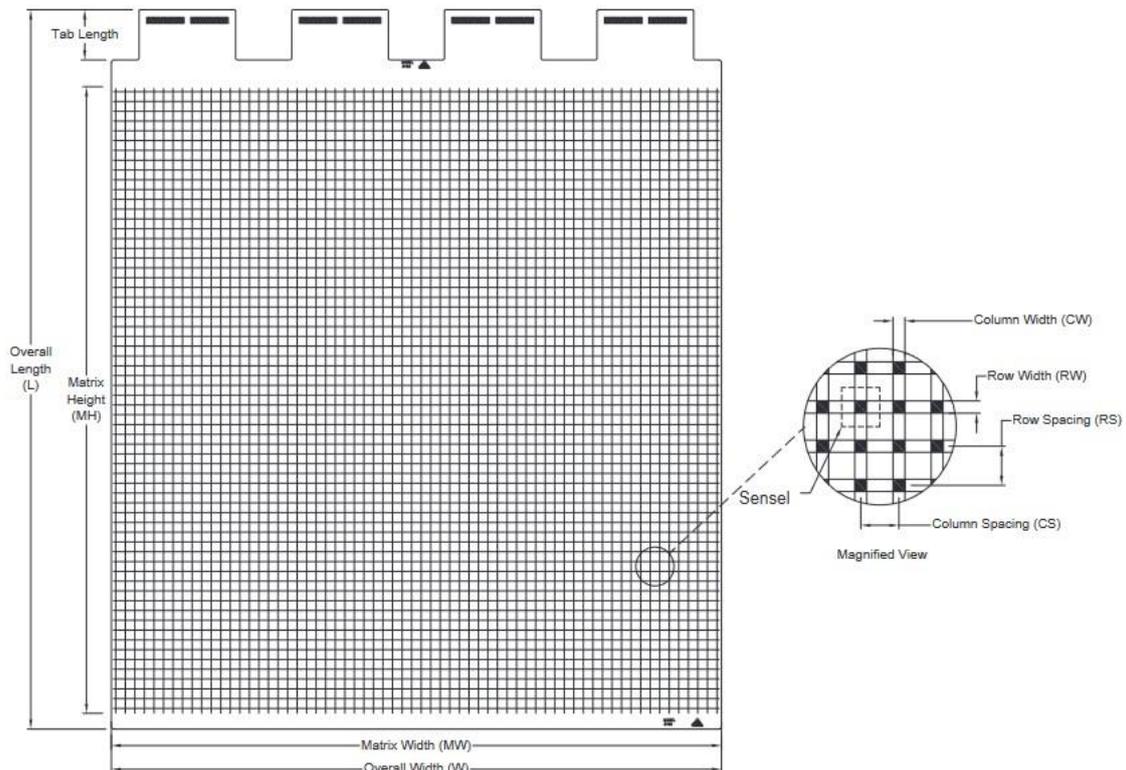


Figure 6 : Schéma d'un capteur de pression utilisé dans le tapis de chez Tekscan™ [48]

Les capteurs de pression sont regroupés sur une ou plusieurs plateformes recouvertes par un revêtement déformable et compressible.



Figure 7 : Exemple d'un tapis statique à capteurs de pression [49]

Le tapis est souvent rectangulaire, et peut être statique ou roulant suivant les modèles. Les tapis roulants comme ceux développés par la marque Canid Gait® fonctionnent de la manière suivante : le système repose sur un châssis, c'est-à-dire une base supportant le tapis sur laquelle le mécanisme est fixé. Il est relié à la plateforme de course par le bras de l'inclinaison, pivotant si besoin grâce à un dispositif. Lors de son activation, la courroie mobile est entraînée dans le sens inverse du déplacement de l'animal par un moteur électrique. La rotation repose sur un système à base de poulies et de

courroies, comme illustré sur la figure 8 ci-dessous. Le tapis s'enroule autour du rouleau avant afin de faire avancer le sujet. La vitesse est adaptable et des barrières de protection permettent au chien de marcher de manière sécurisée. L'opérateur détermine la vitesse et le temps de marche, particularité de ce tapis.

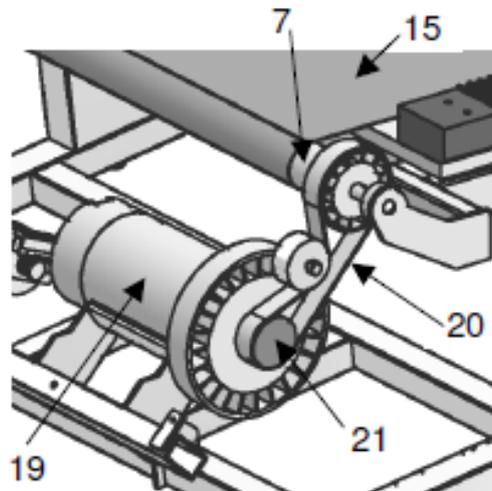


Figure 8 : Fonctionnement d'un tapis roulant

*(© Sujet de Baccalauréat général Série S Sciences de l'ingénieur Session Septembre 2008
– Étude d'un système pluritechnique)*

7 : rouleau avant

15 : courroie mobile

19 : moteur d'entraînement

20 : courroie

21 : poulie motrice

Les tapis statiques et roulants sont comparés dans l'étude de N. Assaf [50]. Ce sont deux systèmes qui utilisent des technologies différentes. En effet le chien marche à sa propre vitesse dans le cadre du tapis statique, tandis que pour le tapis roulant la vitesse est imposée à l'animal. Une différence est retrouvée pour les paramètres spatiaux-temporels mais l'étude montre des similitudes dans les distributions de poids corporel et de pression.

Les tapis sont alimentés par un circuit électrique pour leur fonctionnement. Ils présentent une fréquence d'acquisition des données variable mais de l'ordre de la dizaine ou de la centaine de hertz selon les modèles. En effet, cette fréquence permet un balayage continu des capteurs de la plateforme pour le recueil des informations. Ainsi, plus la fréquence est élevée, plus l'appareil va capter des données.

Une limite de poids est essentielle afin que le sujet active un minimum de capteurs de pression. Un calibrage et un étalonnage sont souvent requis. Le tapis est positionné sur une surface plane. La plupart du temps, aucune préparation du patient en amont n'est nécessaire. La détection des empreintes de pattes est automatique mais peut également se faire manuellement.

L'animal est incité par le manipulateur à marcher le long de la plateforme. Aucune traction ou mouvement perturbant le cycle de la marche ne doivent avoir lieu. Les passages (appelés aussi runs) sont enregistrés successivement sur l'ordinateur grâce au logiciel associé au tapis. Les données sont alors intégrées puis calculées. Divers graphiques sont proposés selon les logiciels utilisés. Les tapis à capteurs de pression ne mesurent pas directement les forces lors du passage de l'animal mais leurs influences.

Une ou plusieurs caméras peuvent être associées et synchronisées au système pour une visualisation en direct et une relecture précise des passages enregistrés. Les quatre membres sont alors visuellement différenciés pour permettre davantage de précision pour l'analyse.

2. Les différents modèles

D'abord développés en humaine, les tapis à capteurs de pression ont été adaptés pour les animaux afin de détecter les quatre membres. Les systèmes varient en fonction de leurs dimensions globales, des capacités de mesures et du degré d'automatisation informatique.

Les tapis classiquement utilisés dans les études proviennent des marques GaitRite®, Zebris Medical® et Tekscan™. Les deux autres outils détaillés par la suite sont plus spécifiques des espèces ciblées avec un fonctionnement qui leur est propre. Enfin, une attention particulière sera portée sur le modèle utilisé dans notre étude.

a) Tapis classiques

(1) GaitRite®

La société américaine GAITRite® commercialise depuis les années 1990 des tapis d'analyse de la marche destinés au milieu médical. Deux sortes de tapis sont actuellement utilisés pour les quadrupèdes en recherche et en clinique. Le premier nommé GAIT4 est utilisé aussi bien chez les chiens que chez les porcins ou les ovins. Différentes versions de ce tapis sont proposées : le tapis simple nommé GAITFour® Walkway avec la version portable et la version solaire GAITFour SAFARI® comprenant une option HD (haute définition) pour davantage de précision et les tapis roulants GAIT4Dog® Treadmill avec le tapis FitFurLife® et le tapis PETZEN® [9].

Le second tapis GAITRite®, de la marque éponyme, est un gold standard en recherche chez les chiens en particulier. Il fut dans un premier temps utilisé dans les années 2000 en remplacement du système GaitMat® afin de mesurer les paramètres spatio-temporels pour différentes allures ainsi que la symétrie des pas chez les humains avant d'être adapté aux canidés [3,51].

Les tapis sont constitués de capteurs de pression résistifs.



Figure 9 : Tapis GAITFour® Walkway (à droite) et tapis roulant GAIT4Dog® (à gauche) [9]

(2) Canid Gait® (Zebris Medical®)

Le système Canid Gait® développé par l'entreprise allemande Zebris Medical® est un outil d'analyse de la démarche et de la posture destiné au diagnostic mais également à la rééducation de chiens pesant de 5 à 80 kilogrammes.

Deux modèles sont conçus pour les animaux : le tapis roulant de course FDM-TPROF ou la plateforme FDM2.

Les tapis d'analyse de la marche sont à capteurs de pression capacitifs. Ils sont souvent associés à des caméras synchronisées par lesquels sont effectués les réglages (figure 10).



Figure 10 : Tapis FDM TPROF Canid Gait® de Zebris Medical® [49]

(3) Tekscan™

Depuis une trentaine d'années, la société américaine de haute technologie Tekscan™ est l'une des leaders du marché dans le domaine de la perception tactile. Dans un premier temps, la société a développé des tapis à capteurs de pression destinés à l'Homme pour des applications médicales en particulier. Plus récemment, elle s'est intéressée à la démarche animale. Hormis les capteurs Hoof™ accolés aux membres des équidés et développés dans le paragraphe suivant, la société a développé

deux sortes de tapis à capteurs de pression pour les quadrupèdes tels que les chiens, les ovins ou les porcins : le Walkway et plus récemment le Strideway™ (figure 11). Le Strideway™ est une plateforme transportable, modulable, destinée aux chiens et aux chats et surtout utilisée en clinique. Le Walkway est un système plus ancien qui peut aussi être employé chez les petits animaux tels que les rongeurs et est plus particulièrement destiné à la recherche [48].



Figure 11 : Strideway™ de chez Tekscan [48]

Ce sont des tapis à capteurs de pression piézorésistifs. Tout comme les autres tapis à capteurs de pression décrits précédemment, le passage de l'animal entraîne une déformation des capteurs se traduisant par une variation de résistance électrique ou de capacité traduite ensuite en un signal électrique. Ce signal est capté par l'ordinateur puis amplifié avant d'être retranscrit sur le logiciel en données chiffrées.

Les tapis sont connectés par un port USB à un ordinateur sur lequel est installé le logiciel associé. Ce dernier permet de calculer et de visualiser sous forme de graphiques de nombreux paramètres décrits ultérieurement.

b) Système Hoof™ (Tekscan™)

Comme son nom l'indique, ce système est destiné aux animaux présentant des sabots, ferrés ou non, tels que les équidés ou les bovins. Il est utilisé dans le cadre d'analyse de la démarche de ces animaux, en particulier dans la détection d'affection locomotrice, l'évaluation d'un traitement suite à une boiterie ou d'un ferrage.



Figure 12.: Photographie du système Hoof™ [52]

Le dispositif contenant les capteurs est situé sous le sabot et est maintenu grâce à la chaussure noire comme l'illustre la figure 12. Chaque dispositif est relié à un brassard VersaTek™ lui-même placé sur le canon ou os métacarpiens des membres antérieurs de l'animal. L'ordinateur reçoit instantanément et à distance les données acquises pendant le déplacement de l'animal. Ces données sont ensuite analysées grâce au logiciel Hoof Software®.

Les dispositifs placés sur les sabots comportent de nombreux capteurs de pression résistifs brevetés à couches minces. Les capteurs sont reliés au brassard. Une connexion sans fil permet la capture des données jusqu'à une distance de 100 mètres de l'ordinateur (figure 13). La vitesse de balayage s'effectue jusqu'à 100 Hz en connexion sans fil.



Figure 13 : Représentation schématique du système Hoof™ de Tekscan™ [52]

La visualisation et l'affichage en temps réel contribuent à une diversité d'applications, abordées plus tard (figure 14).

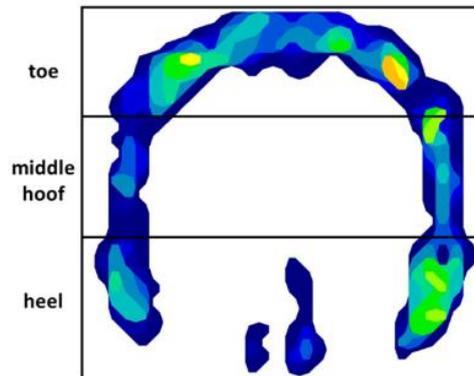


Figure 14 : Répartition de la pression exercée sur un sabot de cheval avec le système Hoof™ (Tekscan™) [53]

c) CatWalk™ XT (Noldus)

Le CatWalk™ XT est un appareil d'analyse de la marche commercialisé par la société hollandaise Noldus destiné à évaluer la démarche chez les rongeurs (rats, souris). Cet outil majoritairement utilisé par des chercheurs, est d'ailleurs validé dans les protocoles de recherche.



Figure 15 : Système CatWalk™ de Noldus [54]

Le tapis positionné en hauteur est constitué d'une plaque en verre trempé durci sur laquelle marchent les animaux. Il est situé dans un couloir rectiligne avec deux murs noirs pour faciliter l'apprentissage et la reproductibilité des passages. La largeur de ce couloir est adaptable pour des rongeurs de tailles variables. L'unité supérieure du couloir est alimentée par une source de lumière rouge afin de visualiser et de contourner la silhouette du rongeur. Une caméra placée sous la plaque enregistre les images à vitesse de 100 fps (frame per seconde) permettant des résolutions spatiales et temporelles précises.

Le rongeur effectue les passages dans le même sens, en direction d'une boîte à l'extrémité du parcours. Il s'agit d'un abri noir avec un trou au milieu pour permettre l'accès à la cage. Cet élément est rassurant pour le rongeur, ce qui le motive à traverser le tapis. Il est alors moins sujet à faire demi-tour ou à s'arrêter.

La passerelle fonctionne avec la technologie des empreintes lumineuses. Elle utilise le principe de réflexion totale de la lumière. Une lumière verte LED (Light-Emitting Diode ou diode électroluminescente) intégrée dans la plaque, est émise et réfléchiée intérieurement puisqu'elle est entourée d'air, hormis lors de contact sur la plaque. En effet, lorsque les pattes du rongeur touchent le verre, la lumière est réfractée du côté opposé en direction de la caméra. Les empreintes sont donc illuminées par une lumière verte, captée par la caméra et analysée par le logiciel comme le montrent les figures 16 et 17 ci-dessous.

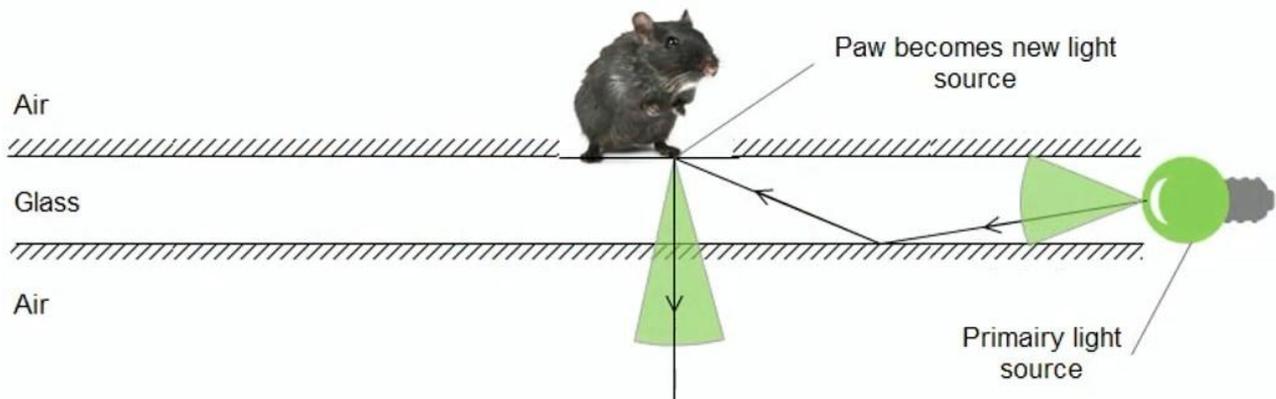


Figure 16 : Schéma illustrant la technologie des empreintes lumineuses [54]



Figure 17 : Enregistrement d'un passage sur CatWalk™ [54]

Le système affiche une forte sensibilité. Il ne surestime pas la taille de l'empreinte et ne détecte pas d'autre partie du corps que la patte. De plus, l'appareil est capable de détecter des écarts subtils dans la répartition du poids du corps. En effet, si l'animal présente une atteinte du système locomoteur, il exerce davantage de pression sur certains membres. Par conséquent, la luminosité de l'empreinte est augmentée.

Cet outil sensible et simple d'utilisation a pour avantage de réaliser une évaluation détaillée des modifications de la démarche.

Avant de débiter une session, la caméra est calibrée afin d'adapter l'angle de vue et réglée de manière à ce que l'image obtenue soit aux dimensions réelles. Les paramètres de détection sont fixés en amont pour enlever le bruit de fond et mieux détecter les empreintes. Le réglage lumineux s'effectue également en amont.

La première étape consiste à définir un nouvel essai pour le sujet. Durant le passage, l'image du rongeur est détectée automatiquement jusqu'à sa sortie du champ de vision de la caméra. Il réalise environ six foulées par run. Les données sont par la suite enregistrées et analysées grâce au logiciel CatWalk XT.

3. Paramètres mesurés

La majorité des tapis d'analyse de la marche détectent de manière automatique les pattes. Il est cependant possible de le faire manuellement.

Le moment, la position ou encore l'intensité de la foulée sont des données fournies et utiles pour qualifier et quantifier la démarche. Les données fournies par les tapis à capteur de pression permettent de calculer de nombreux paramètres spatiaux-temporels en plus des valeurs de pressions des membres. Les variables temporelles et spatiales ne sont pas des variables cinétiques car elles ne représentent pas de force ou de pression. En effet, elles sont utilisées pour la description d'éléments liés au temps et à la distance.

Les différents systèmes peuvent fournir jusqu'à une centaine de paramètres. Nous allons décrire les principaux paramètres spatiaux, temporels, cinétiques et de symétrie des membres rencontrés dans les études.

Les principaux paramètres spatiaux sont les suivants :

- **Stride (step) length** (centimètre (cm) ou autre unité de longueur) : longueur de la foulée (du pas), soit la distance entre deux pas consécutifs de la même patte ou la distance parcourue par une patte pendant un cycle de marche entier
- **Distance traveled** (cm ou autre unité de longueur) : distance parcourue, soit la distance entre la partie postérieure du contact de la première foulée d'une patte donnée et celle de la dernière foulée de la même patte
- **Stride (step) width** (cm ou autre unité de longueur) : largeur de la foulée (de pas), correspond à la distance entre le milieu de la ligne médiane d'une empreinte de patte et la ligne formée par les milieux de la ligne médiane de deux empreintes des pattes opposées
- **Distance d'écartement des doigts** (cm ou autre unité de longueur) : longueur qui sépare deux doigts d'une même patte. Ce paramètre est retrouvé lors de l'utilisation du CatWalk™ de chez Noldus.

Les principaux paramètres temporels sont les suivants :

- **Stance time** (seconde ou en pourcentage du Gait cycle) : temps de position, soit le temps total pendant lequel la patte est en contact avec le sol au cours de la phase d'appui
- **Swing time** (seconde ou en pourcentage du Gait cycle) : temps de balancement, soit le temps pendant lequel la patte n'est pas en contact avec le sol au cours du cycle de la marche au cours de la phase de suspension
- **Stride time** (seconde ou en pourcentage du Gait cycle) : temps moyen d'une foulée, soit la somme swing time + stance time pour un membre, ou la durée moyenne entre le premier contact d'un membre donné avec le tapis et le début de contact du même membre avec le tapis au pas suivant
- **Gait cycle time** (seconde) : durée du cycle de marche, soit la durée entre le premier contact d'un membre donné et le premier contact ultérieur de ce même membre

- **First contact** (seconde) : temps de premier contact tapis-patte ou temps de contact initial
- **Last contact** (seconde) : temps de dernier contact tapis-patte
- **Cadence** (pas par minute ou seconde) : nombre de pas par unité de temps
- **Cycle time** (nombre par minute) : cycles par minute, soit le nombre de foulées complètes par minute
- **Stride velocity** (cm/seconde) : vitesse de foulée, soit vitesse à laquelle une patte fait un cycle de marche complet correspondant à la longueur de la foulée (stride length) divisée par le temps de marche de la patte en question (stride time)
- **Velocity** (cm/seconde) : vitesse de l'animal, soit la distance parcourue le long du tapis divisée par le temps de marche
- **Stride acceleration** (cm/seconde²) : accélération de foulée, soit le changement de vitesse entre deux foulées consécutives
- **Number of stances** : nombre d'appuis réalisés au cours d'un passage, soit le nombre de fois qu'une patte est en contact avec la plateforme
- **Phases** : pourcentages de chaque phase du cycle (phase d'appui, phase d'oscillation).

Les principaux paramètres cinétiques pour chacune des pattes sont les suivants :

- **Maximum force** aussi nommée **Peak Vertical Force (PVF)** (kilogramme (kg) ou %BW (Body Weight)) : force maximale verticale qu'un membre exerce sur le tapis pendant un passage
- **Vertical Impulse (VI)** (kg*seconde ou %BW*seconde) : impulsion verticale, correspond à l'aire sous la courbe de la force verticale en fonction du temps ou au produit de la force verticale par le temps d'appui
- **Maximum peak pressure** (kPa) : valeur maximale de la pression exercée pendant les différents passages au cours de la phase d'appui par chaque membre
- **Contact area** (cm²) : surface de contact, soit l'aire sur laquelle le membre entre en contact au cours de l'appui
- **Total Pressure Index (TPI)** (%) : index de pression totale, soit la somme des valeurs de pressions maximales enregistrées par patte. Ce paramètre est lié mais n'est pas égal à la force verticale maximale. Il est fourni lors d'utilisation de tapis de la marque GaitRite®
- **Body Weight Distribution (BWD)** (%) : calculé à partir de la pression automatique souvent, répartition du poids corporel sur chaque membre au cours de l'appui.

La force verticale maximale (maximum force ou PVF) et l'impulsion verticale (VI) sont les principaux paramètres cinétiques fournis par les tapis à capteurs de pression. Des instruments d'analyse de la marche comme ceux de chez Tekscan™ calculent indirectement la force avec les mesures de pression par un processus d'étalonnage [55].

Les principaux paramètres de symétrie sont les suivants :

- **Symmetry ratio** (pourcentage) : taux de symétrie, soit le rapport pour un même paramètre des deux valeurs de pattes différentes (antérieur/postérieur ou droite/gauche)

- **Center of pressure (COP)** : centre de pression, soit le point d'application de la résultante des forces de pression de la patte. Il fait référence à la projection du centre de masse sur la surface d'appui
- **Rotation du pied** (degré) : angle formé entre l'axe du pied en longueur et l'axe du corps. Si le résultat est négatif, le pied est situé vers l'intérieur tandis qu'un résultat positif indique un pied vers l'extérieur
- **Angles des articulations** (degré) : obtenus grâce aux images en trois dimensions (Canid Gait).

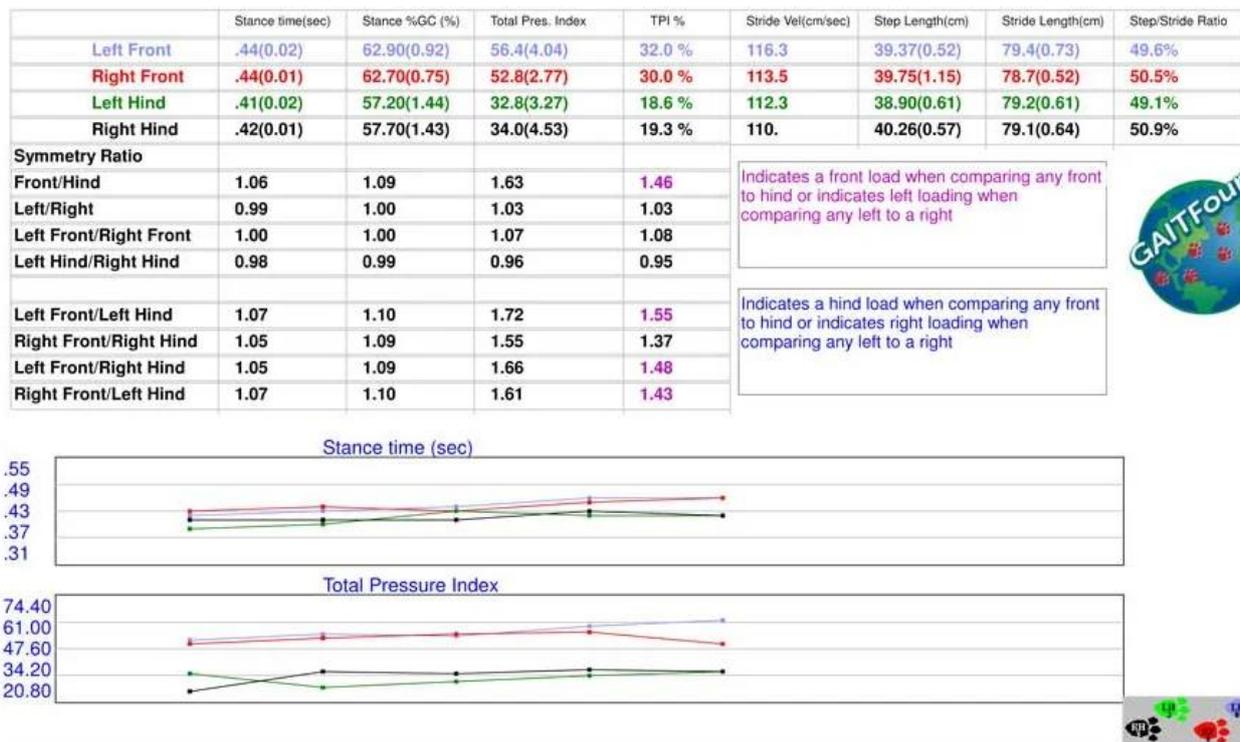


Figure 18: Paramètres obtenus avec le système GAITFour® [9]

D'autres paramètres plus atypiques comme des indices fonctionnels sur les nerfs peuvent également être obtenus avec le CatWalk™ de chez Noldus.

Chez GaitRite® le logiciel est capable d'établir un score de boiterie breveté nommé GLS®, pour GAIT4Dog Lameness Score®, spécifique du système GAITFour® (figure 19).

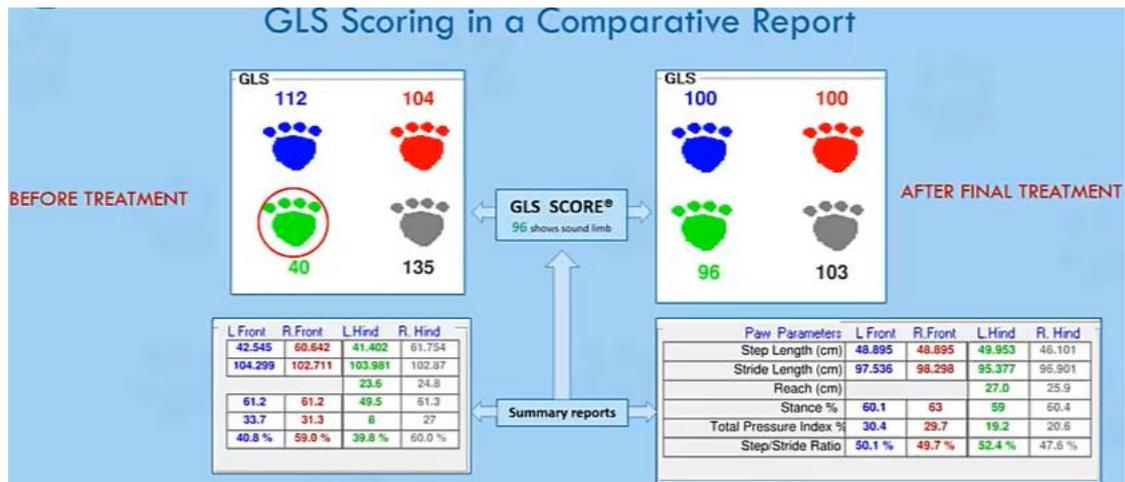


Figure 19 : Score GLS de chez GaitRite® [9]

Des représentations schématiques des appuis au cours des passages et des graphiques pour les paramètres mesurés sont générés par les logiciels des différents tapis à capteurs de pression. La plupart des graphiques représentent la répartition de la pression ou des forces qu'exercent les membres sur le tapis (figure 20).

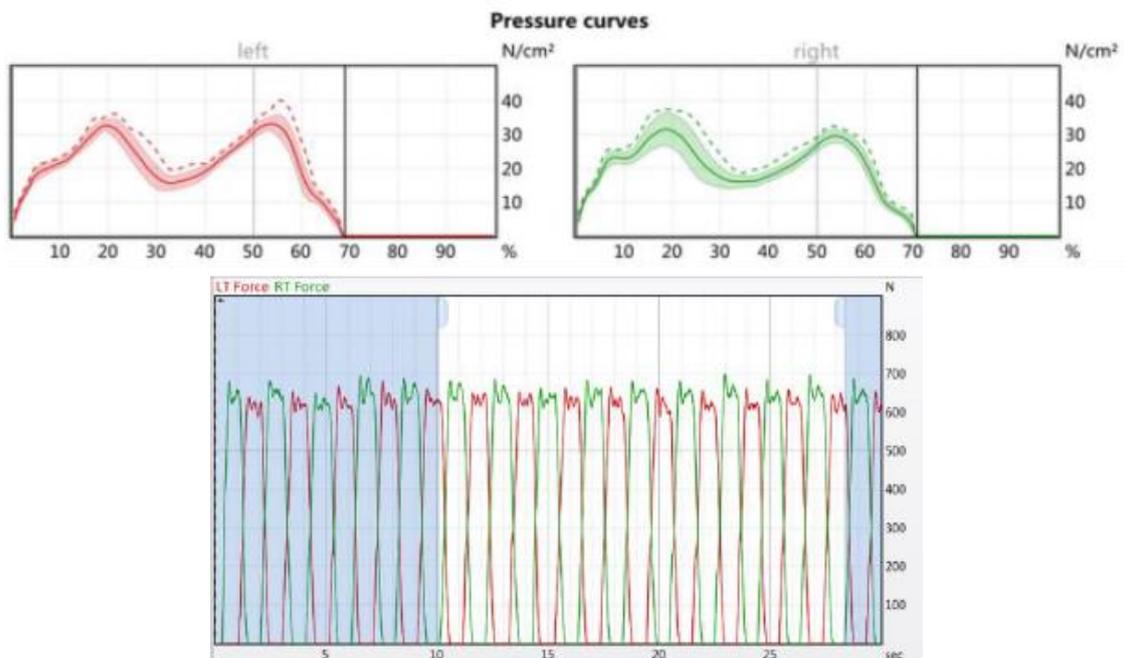


Figure 20 : Exemple de graphiques générés par le logiciel Animal Analysis Suite de Canid Gait® représentant la répartition de la pression chez un bipède (pied gauche en rouge, pied droit en vert) [49]

Une visualisation en direct des empreintes et de la répartition de la pression des pas est également possible grâce aux logiciels (figures 14, 21, 22).

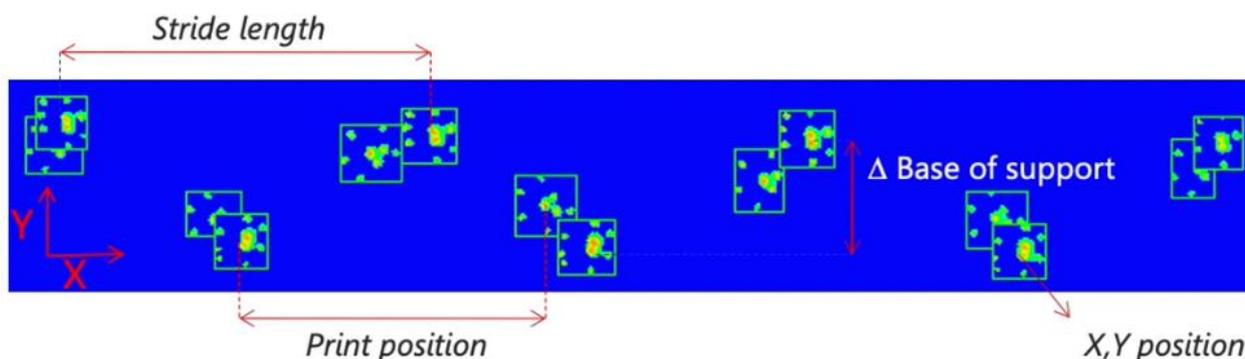


Figure 21 : Visualisation de la répartition des empreintes d'un rongeur et calculs de paramètres sur le logiciel CatWalk™ XT [54]

Lors du passage du sujet, l'activation des capteurs de pression du tapis est représentée à l'écran de l'ordinateur par des empreintes colorées. Les pixels de couleur sont variables selon l'intensité de pression. Souvent le bleu désigne une valeur de faible pression tandis que le rouge correspond à une importante pression (figure 22).

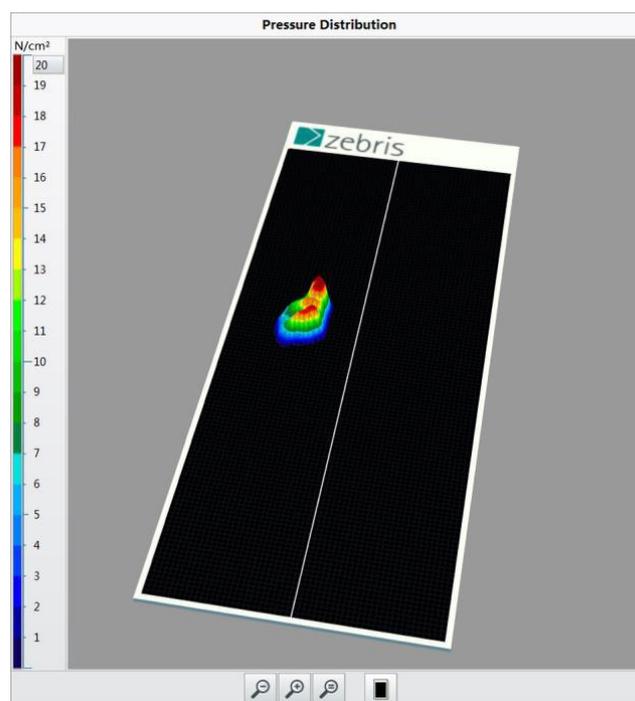


Figure 22 : Visualisation en direct de la pression des pas en 3 dimensions sur le logiciel Animal Analysis Suite [49]

Les tapis de la marque Canid Gait® peuvent générer des diagrammes papillon correspondant à une analyse des centres de pression (COP). Différentes vitesses sont représentées en couleur comme le montre la figure 23 avec le rouge témoignant d'une allure rapide, le vert une allure intermédiaire et le bleu correspondant à une allure plus lente.

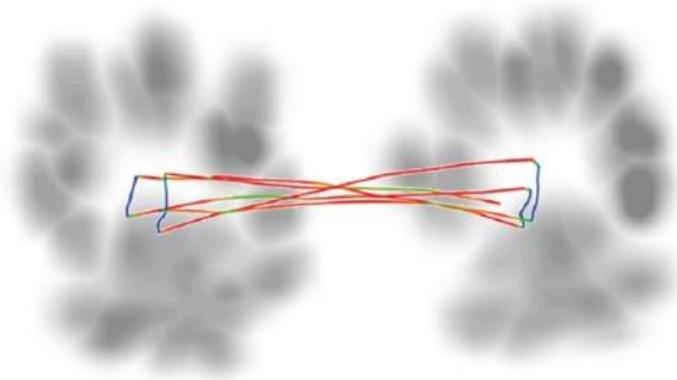


Figure 23 : Représentation d'un diagramme papillon chez un chien [56]

Des diagrammes à barres représentant différents paramètres notamment la force maximale ou la pression maximale ainsi que des mesures temporelles selon le pourcentage d'une phase du cycle sont également proposés par le logiciel Animal Suite Analysis.

Force parameters				
Maximum force1, N	L	1107.8		1400 N
	R	1102.3		
Time maximum force1, %	L	21		100%
	R	21		
Maximum force2, N	L	1055.6		1400 N
	R	1049.6		
Time maximum force2, %	L	42		100%
	R	41		

Figure 24 : Diagramme à barres représentant les paramètres de force [49]

Conséquences : modifications des paramètres en cas de troubles locomoteurs

Une boiterie est caractérisée par une suppression partielle ou totale d'un appui. Dans ce contexte, l'animal n'exerce pas une pression identique sur le membre concerné contrairement à celle sur un membre sain. Le report de poids du membre atteint sur les membres sains est appelé compensation. La redistribution de la force et du poids sur les autres membres modifie également leurs paramètres cinétiques.

Il est à noter que l'interprétation des mesures peut être biaisée par les forces exercées lors d'un changement de vitesse ou de direction, ou lors d'un maintien de l'équilibre [57].

4. Utilisations

Les tapis à capteurs de pression sont utilisés pour une analyse temporo-spatiale de la marche en recherche et en clinique pour divers motifs.

Validation de l'outil chez les chiens sains :

En amont de leurs utilisations en médecine vétérinaire, les tapis d'analyse de la marche ont été validés chez l'Homme, comme c'est le cas du tapis GaitRite®. McDonough et ses collaborateurs ont comparé les résultats de ce tapis avec des méthodes déjà utilisées avant les années 2000 dans l'analyse de la marche telles que le papier crayon ou la vidéographie [3]. Puis l'outil a été adapté par Viguier *et al.* pour des chiens de tailles variables grâce à la détection des quatre membres [51].

Un emploi chez les chiens sains, sans anomalie du système locomoteur a permis de documenter les données de différents paramètres spatiaux-temporels et de symétrie de la démarche [58].

Les tapis de chez Tekscan™ ont été validés pour analyser la démarche normale et anormale des chiens sur le Walkway [59]. D'autres études ont démontré la fiabilité du système Hoof™ pour différentes allures chez les hongres [60]. Le tapis à capteurs de pression de chez Zebris Medical a également été validé chez les chiens sains mais aussi chez les chats [61,62].

Diagnostic et caractérisation de pathologies :

➤ Affections orthopédiques

Un des objectifs de l'analyse de la démarche dans le domaine orthopédique est de mesurer le bénéfice d'une technique chirurgicale. Divers exemples d'études portent sur des chirurgies du grasset ou de la hanche et utilisent les tapis à capteurs de pression avant et après l'intervention afin d'en évaluer l'efficacité. Des affections des hanches telles que la dysplasie ou l'arthrose nécessitent parfois des prises en charges chirurgicales objectivées à court et long termes par les tapis [63–65]. Concernant le grasset, la rupture du ligament croisé crânial et la luxation de la patelle sont des affections étudiées suite à une intervention [66]. Les techniques chirurgicales peuvent être comparées entre elles mais l'outil est également un moyen pour évaluer une nouvelle technique ou déterminer le membre le plus atteint en amont de la chirurgie [65,67,68].

L'analyse de la démarche est fréquemment utilisée pour objectiver une boiterie. La sensibilité et la spécificité des tapis de la marque GaitRite® ont été déterminées pour la détection des boiteries précoces chez les porcs en vue d'améliorer leur bien-être et leur rendement [69,70] mais également chez les chiens [71,72].

Le système Hoof™ de chez Tekscan™ permet également de détecter et de trouver les causes de boiteries chez les ongulés. Certaines études ont recours à cet outil pour connaître l'impact des différents types de sol sur les pieds des bovins dans le cadre du bien-être animal [73]. Le système permet aussi de mesurer les baisses de performances dues aux boiteries [74] et de connaître l'impact d'un exercice donné sur les pieds des chevaux dans le cadre de sports équestres [75].

L'arthrose est une maladie fréquemment étudiée grâce aux outils d'analyse de la marche. En effet, des études ont pu comparer les paramètres de symétrie entre chiens sains et arthrosiques [59] tandis

que d'autres se sont focalisées sur les traitements contre l'arthrose après une rupture de ligament croisé crânial [76]. La détermination de la sévérité des lésions sur des modèles murins est également réalisée avec le système CatWalk™ [77].

Le tapis est également un moyen de comparer les paramètres cinétiques et les scores de boiterie chez les chiens souffrant de dysplasie de hanches ou les chiens ayant des malformations congénitales comme la cyphose vertébrale du Bouledogue français [78,79].

Pour d'autres maladies ayant un impact sur la fonction locomotrice comme la fourbure chez le cheval, la répartition du poids sur les membres a été évaluée grâce aux capteurs de pression [53].

➤ Affections neurologiques

Dans le cadre d'affections neurologiques, les outils d'analyse de la marche constitués de capteurs de pression apportent une meilleure compréhension des maladies rencontrées chez l'Homme grâce à des modèles d'expérimentation animale.

Des études portant sur les lésions de la moelle épinière ont permis une caractérisation des paramètres spatio-temporels des animaux atteints tandis que d'autres se sont intéressées à la récupération fonctionnelle de cette affection sur des modèles murins grâce au CatWalk™ [80,81].

Les maladies humaines neurodégénératives sont également évaluées grâce à des modèles animaux. C'est le cas des maladies de Huntington et de Parkinson qui engendrent d'importantes modifications de la démarche chez les patients atteints. Le but des travaux est d'évaluer les changements de la démarche et de pouvoir tester de nouveaux traitements en amont des essais cliniques sur l'Homme [82,83].

Enfin, d'autres études se focalisent sur la recherche des paramètres pertinents à analyser sur divers modèles de maladies humaines affectant le système nerveux central et le système nerveux périphérique telles que le traumatisme cérébral, l'accident vasculaire cérébral ou l'ataxie [84].

Évaluation de traitements :

Enfin, les tapis à capteurs de pression peuvent être utilisés pour tester des traitements et aider à leur développement préclinique. C'est le cas des injections intra-articulaires qui requièrent des essais thérapeutiques afin de mesurer leurs efficacités sur de l'arthrose d'origine primaire chez des chiens ou des modèles de rats arthrosiques [85,86], ou de l'arthrose d'origine traumatique comme c'est le cas suite à une rupture de ligaments croisé crânial [87,88]. D'autres médicaments sont testés pour réduire la boiterie comme les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) chez les truies [89] ou pour évaluer leur efficacité dans la réduction de la douleur postopératoire suite à une chirurgie de TPLO (Tibia Plateau Leveling Osteotomy) par exemple [90]. Le tapis permet également de mesurer l'impact d'un traitement conservateur suite à un traumatisme [91] mais aussi d'évaluer l'efficacité d'une thérapie génique sur des modèles canins pour une affection musculaire humaine par exemple [92].

En médecine alternative, l'impact sur la locomotion de nouveaux compléments alimentaires ou thérapeutiques destinés à améliorer le confort de vie des animaux est aussi étudié [93,94]. L'influence de traitements mécaniques locaux comme le parage des sabots chez les chevaux et la détection des déséquilibres sont également examinés avec les outils d'analyse de la démarche [95]. Le système CatWalk™ de Noldus possède un logiciel d'apprentissage automatique des comportements de marche

variés pour des animaux atteints de diverses affections dans le but de discriminer des produits pharmacologiques pertinents pour leur prise en charge [96].

En complément de son emploi dans la recherche ou la clinique pour le diagnostic ou le traitement, le tapis roulant Canid Gait® est utilisé pour la rééducation des animaux.

Certaines études ont comparé les tapis à capteurs de pression de différentes marques pour évaluer la concordance des paramètres spatio-temporels [2,50,97]. Leurs caractéristiques majeures et des exemples d'utilisation sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Tableau récapitulatif des différents outils à capteurs de pression associés à des exemples d'utilisations

Modèles	Marque	Capteurs	Logiciel	Utilisations
GAIT4Dog ® GaitRite®	GaitRite®	Résistifs	GaitFour ®	[3,51,58,63,66,69–72,78,79,82,89,92,93]
FDM- TPROF FDM-2 CanidGait®	Zebris Medical®	Capacitifs	Animal Analysis Suite	[33,56,61,62,97]
Walkway	Tekscan™	Piézorésistifs	Walkway 7.6 software	[59,64,65,67,68,76,80,85,88,90,91,94,98]
CatWalk™ XT	Noldus	/	CatWalk XT	[2,77,81,83,84,86,96,99]
Hoof™	Tekscan™	Résistifs	Hoof Software	[53,60,73–75,95]

5. Avantages et inconvénients

Les tapis à capteurs de pression présentent de nombreux avantages. Ce sont des outils facilement transportables qui permettent une analyse semi-automatisée de la foulée du sujet et fournissent des données spatio-temporelles pour une large gamme de tailles d'animaux. Plusieurs foulées consécutives sont enregistrées lors de chaque passage, fournissant alors de nombreux résultats. Les logiciels intégrés calculent des paramètres cinétiques et spatio-temporels, donnent des informations en temps réel sur le placement des membres et permettent une comparaison et une relecture des données.

Cependant, ces outils à capteurs de pression mesurent uniquement les forces totales de réaction au sol. Les trois dimensions spatiales ne peuvent être analysées individuellement. Il est également impossible d'évaluer les animaux amputés d'un membre avec le tapis roulant GAIT4 Dog® [50].

Malgré une possible utilisation en clinique, les tapis à capteurs de pression représentent un investissement car ils sont onéreux.

6. Focus sur le système Walkway (Tekscan™)

Pour notre étude nous avons utilisé la plateforme de marche Walkway High Resolution HRV4®, c'est la raison pour laquelle nous allons nous focaliser sur ce système.

a) Description et fonctionnement du tapis

Le Walkway HRV4® mesure 207 centimètres de long sur 58,4 centimètres de large pour une surface sensible de 195,1 par 44,7 centimètres. Il est constitué de cinq panneaux (également appelés tiles), carrés, indépendants juxtaposés sur la longueur et recouverts par un matériau compressible (figure 25). Le tapis est rectangulaire, plat et non incliné pour faciliter le déplacement et visualiser plusieurs cycles de marche.



Figure 25 : Walkway HRV4® d'Oniris (©Mathilde Nguyen Dinh)

Chaque tile est composé de 3,9 capteurs de pression par centimètre carré, ce qui représente un total de 33 408 capteurs pour le Walkway HRV4®. Un système de cartographie de pression en matrice permet de mesurer une pression d'interface entre deux surfaces grâce aux capteurs fins (de l'ordre de 0,1 millimètre) et flexibles. Chaque capteur est constitué de deux feuillets d'un matériau conducteur formés de rangées et de colonnes croisées appliquées dans la longueur. Une couche diélectrique est placée entre les matériaux conducteurs pour prévenir un court-circuit. Ensuite, une couche de matériau semi-conducteur sensible à la pression est appliquée à chaque intersection de rangées et de colonnes. Pour finir, un matériau adhésif est appliqué et les deux parties du capteur sont regroupées.

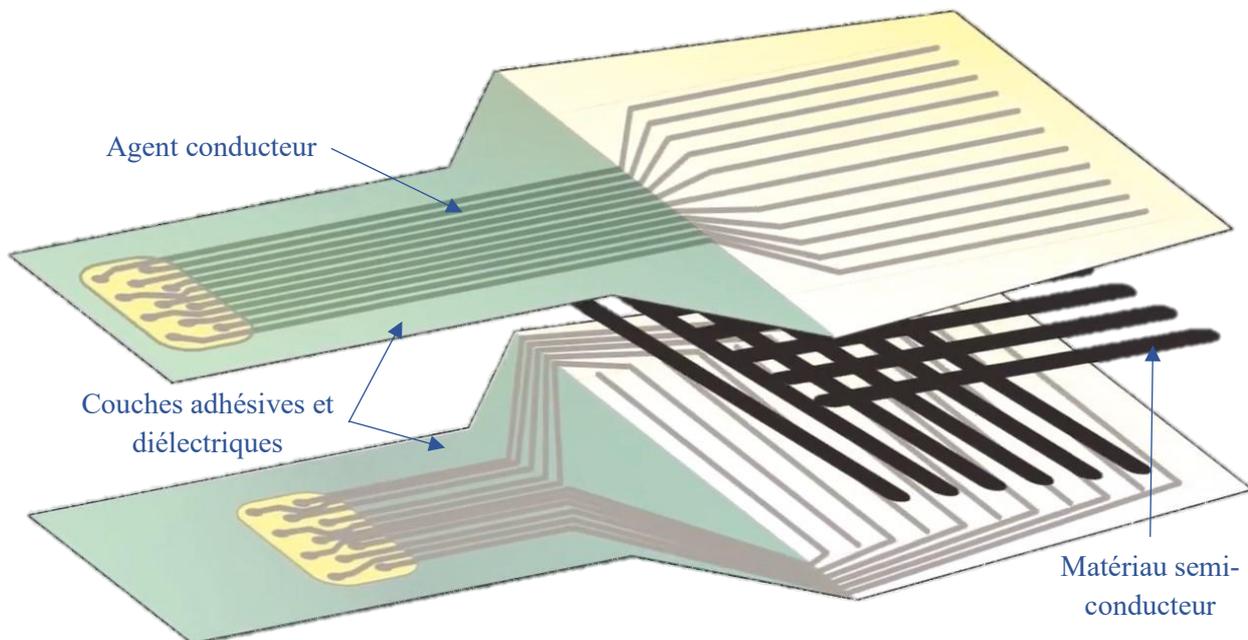


Figure 26 : Capteur Tekscan® d'après [48]

Les capteurs sont de types piézorésistifs, c'est-à-dire que toute variation de pression est captée par les intersections indépendantes des capteurs et entraîne un changement de résistance du matériau. Les capteurs sont connectés à un système de balayage qui convertit le changement de résistance en signal numérique.

L'envoi des données est indépendant pour les 5 capteurs, elles sont ensuite collectées et regroupées par le logiciel. La fréquence de balayage va jusqu'à 100 Hz et la pression maximale captée est de 400 kPa. Le boîtier latéral au tapis permet de cacher les câbles électriques nécessaires à son fonctionnement.

Le chien se déplace sur toute la longueur du tapis, peu importe le sens et réalise au minimum cinq passages afin d'obtenir une moyenne.

b) Calibrage – étalonnage

Chaque tile est calibré indépendamment. Pour cela un matériel de poids connu est appliqué sur chaque unité. L'étalonnage manuel est réalisé à l'aide du logiciel associé au tapis. Une vérification dans la concordance des unités de longueur, de force et de pression est nécessaire pour la comparaison des paramètres.

c) Logiciel de traitement des données : Walkway 7.6 software

Les données acquises après passage de l'animal sur le Walkway sont directement transmises au logiciel de traitement des données Walkway 7.6 software. Elles sont ensuite enregistrées puis extraites à l'aide d'un périphérique de stockage mobile. Le Centre de Recherche et d'Investigation Préclinique (CRIP) de l'école vétérinaire a développé un logiciel en cours de brevetage nommé AQUAM (Analyse Qualitative des Anomalies de la Marche). Ce dernier permet une retranscription des données brutes exprimées en format csv (comma separated value) par le logiciel Walkway en données

exploitables par Excel. Le but est d'obtenir un unique fichier de données par chien. À chaque nouvelle visite, les données sont ajoutées dans le fichier Excel de l'animal concerné. En supplément du tableau de données brutes et après avoir complété la date et le poids du chien au moment de la visite, AQUAM génère des graphiques des paramètres souhaités.

Cet outil est beaucoup plus simple d'utilisation puisqu'auparavant l'opérateur devait imprimer les données du logiciel Walkway puis surligner les résultats intéressants avant de les exploiter.

Le logiciel permet une visualisation des empreintes en direct (figure 27). Chaque pixel correspond à une activation des capteurs avec le code couleur suivant : les teintes bleues représentent une basse pression tandis que les teintes rouges traduisent une forte pression.

La détection des membres est automatique. Une couleur est attribuée pour chacun des membres : le rouge pour le membre thoracique droit, le vert pour le membre thoracique gauche, le rose pour le membre pelvien droit et le bleu pour le membre pelvien gauche (figure 28).



Figure 27 : Visualisation des empreintes et graphiques générés par le logiciel Walkway [48]

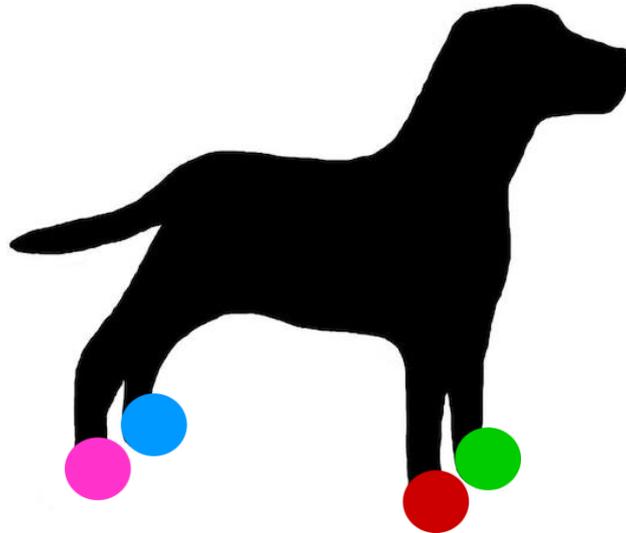


Figure 28 : Attribution d'une couleur par membre selon le logiciel Walkway (d'après Etsy)

d) Paramètres mesurés et calculés

Le logiciel permet l'obtention et la visualisation des données sous forme de tableaux et de graphiques. Les paramètres obtenus au cours du passage du chien sont regroupés en trois catégories :

- Les paramètres de run concernent l'allure de l'animal et fournissent une vision complète de sa démarche
- Les paramètres de membre caractérisent la foulée et l'appui de chaque membre en les individualisant
- Les paramètres de symétrie sont calculés entre les différents membres

e) Paramètres de run

Les principaux paramètres mesurés caractérisant la marche sont regroupés dans le tableau suivant et définis ci-après ou dans le paragraphe précédent I.D.3.

Quadruped Gait Table		VSCICE.fsx
		Stella Dog
Number of Stances		18
Gait Time - Front (sec)		2.12
Gait Distance - Front (cm)		218.9
Gait Velocity - Front (cm/sec)		103.4
Gait Cycle Time (sec)		0.53
Cycles/Minute		112

Figure 29 : Exemple de tableau des paramètres de run [48]

- **Number of stances**
- **Gait time - front** (seconde) : temps de marche au cours d'un passage, soit le temps entre le premier contact d'un antérieur lors de la première foulée et la dernière foulée du passage
- **Gait distance - front** (cm) : distance parcourue sur le tapis soit la distance entre la partie postérieure du contact du premier antérieur de la première foulée et celle de la dernière foulée
- **Gait velocity - front** (cm/seconde) : vitesse de marche correspondant à la distance (gait distance) divisée par le temps de marche (gait time)
- **Gait cycle time** (seconde)
- **Cycle/minute** (nombre/minute) : nombre de foulées complètes par minute
- **Cadence** (pas/seconde)

f) Paramètres de membre

Les paramètres de membre réfèrent au contact et à la force des appuis. Ils sont résumés dans la figure 30 ci-dessous.

Quadruped Stance-Stride Table	VSCICE.fsx			
	Stella Dog			
	LF	LH	RF	RH
Stance Time (sec)	0.33	0.34	0.33	0.31
Swing Time (sec)	0.21	0.18	0.20	0.20
Stride Time (sec)	0.54	0.54	0.53	0.53
Stride Length (cm)	52.3	56.6	54.7	54.5
Stride Velocity (cm/sec)	97.1	104.9	103.4	103.8
Stride Acceleration 1-2 (cm/sec ²)	13.1	-25.6	24.4	13.1
Maximum Force (%BW)	25.2	27.4	25.3	22.7
Maximum Force (lb)	32.2	35.1	32.4	29.0
FTI (%BW*sec)	5.2	6.4	5.7	4.7
FTI (lb*sec)	6.7	8.2	7.3	6.0
Maximum Peak Pressure (PSI)	48	46	48	38

Figure 30 : Exemple de tableau des paramètres de membre [48]

Les paramètres suivants sont définis dans le paragraphe précédent I.D.3.

- **Stance time** (seconde)
- **Swing time** (seconde)
- **Stride time** (seconde)
- **Stride length** (cm)
- **Stride velocity** (cm/seconde)
- **Stride acceleration 1-2** (cm/seconde²) : variation d'accélération moyenne entre deux foulées, calculée pour chaque membre.

$$\text{Stride acceleration } 1 - 2 = \frac{\text{Stride velocity } 2 - \text{Stride velocity } 1}{\text{Stride time } 2}$$

- **Maximum force** (kg ou %BW) ou **Peak Vertical Force (PVF)**
- **Vertical Impulse (VI)** (kg/seconde ou % BW/seconde)
- **Maximum peak pressure** (kg/cm² ou kilopascal)
- **Contact area** (cm²)
- **Body Weight Distribution (BWD)** (%)

g) Paramètres de symétrie

Les paramètres de symétrie traduisent le rapport de la moyenne des paramètres précédents :

- Des membres antérieurs et postérieurs.
- Des membres à gauche et à droite.
- Du membre pelvien gauche et du membre pelvien droit.

Quadruped Symmetry Table (ratio)	VSCICE.fsx
	Stella Dog
Stance Time Front / Hind	1.02
Stride Time Front / Hind	1.00
Stride Length Front / Hind	0.96
Stride Velocity Front / Hind	0.96
Max Force Front / Hind	1.01
Stance Time Left / Right	1.05
Stride Time Left / Right	1.02
Stride Length Left / Right	1.00
Stride Velocity Left / Right	0.97
Max Force Left / Right	1.10
Stance Time Left Front / Right Front	1.01
Stride Time Left Front / Right Front	1.02
Stride Length Left Front / Right Front	0.96
Stride Velocity Left Front / Right Front	0.94
Max Force Left Front / Right Front	0.99
Stance Time Left Hind / Right Hind	1.10
Stride Time Left Hind / Right Hind	1.03
Stride Length Left Hind / Right Hind	1.04
Stride Velocity Left Hind / Right Hind	1.01
Max Force Left Hind / Right Hind	1.21

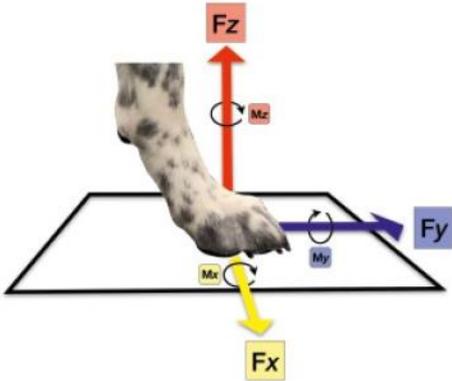
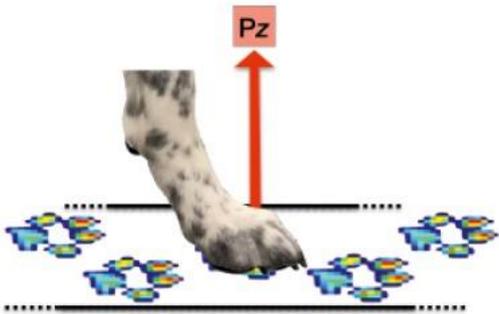
Figure 31 : Exemple de tableau des paramètres de symétrie [48]

Ils sont exprimés en pourcentage et leur valeur doit tendre vers 1. Ils mettent en évidence des défauts de symétrie de l'allure.

E. Comparaison des plaques de force et des tapis à capteurs de pression

Les plaques de force et les tapis à capteurs de pression décrits précédemment sont deux sortes d'instruments utilisés en vue d'analyser la démarche chez les animaux. Les avantages et les inconvénients de ces deux moyens sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II : Comparaison des plaques de forces et des tapis à capteurs de pression

	Plaque de force	Tapis à capteurs de pression
Schémas [55]	 <p>Fz : Force verticale Fy : Force crânio-caudale Fx : Force médio-latérale Mz : Moment vertical My : Moment crânio-caudal Mx : Moment médio-latéral</p>	 <p>Pz : pression verticale</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Gold standard pour mesurer les forces • Forces mesurées dans les 3 dimensions • Grande sensibilité et précision • Mesures à très hautes fréquences (3000 Hz) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure continue de plusieurs foulées • Différenciation et individualisation des pas • Données spatio-temporelles • Visualisation en direct des empreintes • Enregistrement et comparaison des runs • Facilité de stockage, transport • Large gamme de poids
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibilité de distinguer les pieds • Fixé au sol • Analyse et interprétation des résultats plus longues 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure des pressions verticales uniquement • Difficulté de compréhension des pressions (liaison des pressions à la force) • Basses fréquences d'enregistrement, moins de justesse dans la mesure

II. Utilisations des outils d'analyse de la marche en humaine

Les outils d'analyse de la marche en humaine ont été développés en amont de ceux utilisés chez les animaux. Les objectifs sont similaires à ceux évoqués précédemment en médecine vétérinaire. En effet, ces techniques sont des outils diagnostics pour toute affection ayant une répercussion sur la locomotion. De plus, ils permettent une meilleure compréhension des répercussions d'une maladie sur le système locomoteur et une optimisation des thérapies. Enfin, leurs utilisations sont fréquentes dans le domaine sportif en vue d'améliorer les performances.

C'est pourquoi l'analyse de la marche est retrouvée dans divers domaines aussi bien en recherche qu'en médecine ou dans une utilisation quotidienne en vue d'une amélioration de la démarche et de la posture.

Des appareils constitués de diverses technologies ont été développés chez l'Homme pour l'étude cinétique et la détermination des paramètres spatio-temporels. De la plaque de force, aux tapis roulants à capteurs de pression en passant par les caméras infra-rouges ou encore l'accélérométrie, de nombreuses marques ont développé des outils d'analyse de la démarche.

La majorité des instruments utilisés pour la médecine ou à domicile sont à capteurs de pression. Il s'agit de tapis pour l'analyse de plusieurs foulées ou de plateformes modulaires comme ceux conçus par Tekscan™ (HR Walkway, Strideway) comprenant différents types de capteurs sensibles à la pression exercée par le pied des patients. Ils sont destinés à étudier la démarche en analysant la vitesse, l'accélération et des paramètres spatio-temporels ainsi que la baropodométrie chez les enfants et les adultes.



Figure 32 : Exemples de plateformes à capteurs de pression utilisées en humaine (Tekscan™) [48]

Les tapis roulants comme le RehaWalk® de chez Zebris Medical® peuvent aider les médecins ou les thérapeutes à analyser la démarche chez les patients ayant besoin de rééducation après une maladie, un accident ou nécessitant une correction de la démarche (figure 33).



Figure 33 : RehaWalk® de Zebris Medical® [100]

D'autres systèmes directement positionnés sur le corps ou dans la chaussure du patient sont développés comme le F-Scan de Tekscan™ pour une mesure en conditions réelles et une analyse dynamique plus ciblée (figure 34).



Figure 34 : F-Scan de chez Tekscan™ [48]

La vidéographie ou l'accélérométrie tridimensionnelles (Biometrics, SenseWear Armband®) sont également très répandues pour la détection de troubles locomoteurs. De nouveaux outils intégrés aux smartphones fournissent des données spatio-temporelles aussi efficaces que celles obtenues sur une plateforme Strideway (Tekscan™) [101].

Les divers instruments ont montré de bonnes répétabilité et reproductibilité des résultats de pressions ou des paramètres spatio-temporels. C'est le cas du tapis HR Walkway de chez Tekscan™ pour lequel une étude a montré de bons résultats chez les enfants sains [102].

La plupart des instruments sont connectés à un ordinateur sur lequel est installé le logiciel correspondant. Une transmission des données s'effectue grâce à un câble afin de les enregistrer, les analyser et établir des graphiques.

La marche sollicite les articulations ainsi que d'autres systèmes. Une perturbation due à une anomalie d'origine musculosquelettique, neurologique (centrale ou périphérique) ou ostéoarticulaire se manifeste fréquemment par une boiterie et donc une altération de la démarche.

Les altérations de la marche sont donc particulièrement étudiées en médecine pour le suivi de diverses maladies. C'est le cas des maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson où les sujets souffrent d'akinésie ou encore la sclérose en plaques affectant les systèmes nerveux central et périphérique et causant des troubles de l'équilibre [103,104]. D'autres troubles tels que l'autisme, la démence ou encore l'ataxie sont caractérisés par une modification de la démarche : les paramètres sont soit augmentés ou au contraire diminués.

Enfin, les maladies vasculaires cérébrales causent des lésions du système nerveux et entraînent des altérations dans les déplacements comme suite à un accident vasculaire cérébral (AVC) [105,106]. En kinésithérapie, la rééducation après un AVC est souvent mesurée à l'aide d'outils tels que les accéléromètres pour quantifier du niveau d'activité physique des patients [107].

Les maladies systémiques peuvent également avoir des répercussions sur le système locomoteur et entraîner des modifications. C'est le cas avec les cardiopathies et notamment les insuffisances cardiaques avec comme indicateur pronostic la vitesse de marche [108,109].

L'effet d'un traitement médical ou chirurgical suite à une atteinte orthopédique telle que la rupture d'un ligament croisé ou l'application de prothèses orthopédiques est évalué sur des tapis d'analyse de la marche. L'objectif est l'amélioration des conditions de vie des patients afin qu'elles se rapprochent de celles d'un sujet sain [110,111].

Un diagnostic précoce des maladies est donc possible grâce à l'étude des caractéristiques de la démarche et le suivi des paramètres dans le temps. Leurs complications et l'impact des traitements ciblés sont également examinés.

La podologie est un domaine où les outils d'analyse de la marche sont très utilisés comme les semelles ou les chaussures instrumentées. Le but est de visualiser la répartition des appuis, d'analyser le mouvement du pied au cours des phases du cycle de la marche, de visualiser les asymétries et de noter les compensations. C'est le cas par exemple chez les enfants pour s'assurer d'un bon développement physique, ou chez les patients diabétiques pour évaluer le risque de développer des ulcères de pression.

Outre la médecine, le domaine sportif s'intéresse à la biomécanique et utilise ce type d'outils d'évaluation dans le but de prévenir des blessures, l'optimisation des performances sportives ou dans la conception de matériel [112,113].

Conclusion sur les systèmes d'analyse de la marche

L'utilisation de techniques d'analyse de la marche a augmenté ces dernières années en recherche mais est également de plus en plus présente en clinique dans le domaine vétérinaire et en médecine humaine.

Dans les deux cas, un nombre varié d'applications est possible dans le secteur médical, le diagnostic et la prévention de maladies, l'évaluation de traitements ou encore dans le milieu sportif avec les contrôles de performance et l'étude de divers matériels. Les forces et les paramètres spatio-temporels sont les variables étudiées pour une analyse objective de la démarche animale ou humaine.

Divers instruments avec leurs propres technologies et particularités existent et sont de plus en plus abordables pour une utilisation clinique.

Ces outils ne sont pas évoqués au cours des études vétérinaires. Une formation est donc indispensable pour connaître les bases de l'analyse de la démarche dans l'intention d'une utilisation en pratique quotidienne.

PARTIE 2 : Étude expérimentale

L'espérance de vie des chiens domestiques a augmenté ces dernières années. En effet, la médicalisation, l'amélioration de l'alimentation et du confort de vie contribuent à cette augmentation. D'après les études, un animal est défini comme « sénior » lorsqu'il a atteint le dernier quart de l'espérance de vie de sa race [114]. En médecine vétérinaire, le praticien reçoit une part importante d'animaux séniors, et son objectif est de prévenir toute maladie ainsi que d'améliorer leur confort de vie. Chez les animaux domestiques, l'arthrose est une maladie dont la prévalence augmente avec l'âge. Selon d'anciennes études, 20% à 40% des chiens âgés de plus d'un an en souffriraient [115]. C'est une maladie inflammatoire chronique, dégénérative localisée au niveau des articulations. Elle correspond à la destruction progressive du cartilage articulaire avec perte de collagène et de protéoglycane, un remaniement de l'os sous chondrale, et une inflammation chronique des membranes synoviales avec prolifération d'ostéophytes.

L'arthrose se manifeste cliniquement par de la douleur, une boiterie d'un ou plusieurs membres et par conséquent par une réduction de la mobilité de l'animal. Elle est d'origine multifactorielle, soit primaire soit secondaire à un traumatisme ou à une inflammation. La prise en charge est multiple selon l'origine et le stade de la maladie. Un traitement précoce permet de ralentir l'évolution de la maladie. Les médecines alternatives telles que la physiothérapie ou l'acupuncture sont utilisées dans l'arthrose débutante ou en complément des traitements allopathiques.

La maîtrise du poids du chien est préconisée. Le surpoids est un facteur aggravant lié aux sollicitations supplémentaires portées sur les articulations. Une modification de l'alimentation avec ajout de compléments alimentaires peut prévenir l'avancée de la maladie mais également contrôler le poids. Souvent l'aliment pour chien arthrosique est riche en protéines afin que l'animal conserve sa masse musculaire. De nombreux produits existent sur le marché. Le laboratoire Nutri'Earth a développé un complément alimentaire à base de farine d'insectes destiné aux chiens âgés arthrosiques, aussi nommé nutricament. Cette nouvelle source de protéines actuellement en plein essor a pour but d'être brevetée par l'entreprise en vue d'une introduction dans l'aliment et d'une commercialisation. Nous avons réalisé une évaluation objective de ce complément alimentaire à travers notre étude clinique.

I. Objectifs de l'étude clinique

L'objectif principal de cette étude prospective est l'évaluation de l'efficacité de la farine à base de poudre d'insectes sur l'évolution de l'activité physique chez les chiens âgés arthrosiques après trois mois de traitement. La tolérance de ce complément alimentaire et son efficacité à travers l'évolution des signes cliniques de l'arthrose sont également étudiées.

Il s'agit d'une étude ouverte, où chaque animal reçoit le traitement et est son propre témoin. Aucune randomisation n'a été effectuée.

II. Considérations éthiques

Avant l'inclusion de leur chien, les propriétaires ont été informés des procédures réalisées durant l'étude puis signent un consentement éclairé. Un retrait à tout moment du protocole peut être envisagé quelle qu'en soit la raison. Les animaux sélectionnés prennent leur traitement à la maison et sont régulièrement suivis au Centre Hospitalier Universitaire Vétérinaire (CHUV) d'Oniris afin de vérifier leur tolérance au produit testé. Les examens réalisés lors des visites sont peu invasifs et douloureux. Les urines sont généralement collectées par miction spontanée et un maximum de 4 millilitres de sang par visite est prélevé. Les examens et analyses réalisés sont entièrement pris en charge par l'étude. L'étude est supervisée par un investigateur principal, docteur vétérinaire et professeur à Oniris et peut être aidé par des techniciens ou des étudiants de l'école.

Enfin, le protocole détaillé a été validé par les comités d'éthique d'Oncovet Clinical Research (OCR).

III. Matériels et méthodes

A. Protocole et déroulement de l'étude

1. Choix des animaux

Les sujets pouvant participer à l'étude sont des chiens adultes atteints d'arthrose due à l'âge, présentant des boiteries plus ou moins prononcées mais correspondant aux caractéristiques énoncées dans le tableau III par Goldston et Hoskins en 1995 [116].

Tableau III : Critères de début de la période gériatrique chez les chiens d'après Goldston et Hoskins [116]

Race de chiens	Poids (kg)	Moyenne d'âge (années)
Petite race	0 – 9 kg	11,48 +/- 1,85 ans
Race moyenne	9,5 – 22,5 kg	10,90 +/- 1,56 ans
Grande race	22,5 – 41 kg	8,85 +/- 1,38 ans
Race géante	> 41 kg	7,46 +/- 1,94 ans

Ils ont été recrutés par un vétérinaire ou l'opérateur réalisant l'étude. Un recrutement au sein de la clientèle du CHUV d'Oniris était initialement prévu.

2. Traitements annexes

Les traitements autorisés durant l'étude sont les suivants : tout anti-inflammatoire non stéroïdien pris pendant moins de six jours durant la période de prise du complément alimentaire, un traitement antibiotique, antiparasitaire ou sous forme topique. De plus, tout traitement symptomatique peut être pris par l'animal en cas d'effets secondaires ou de troubles digestifs par exemple. Chaque médicament donné au chien inclus, par exemple un antiparasitaire ou un antibiotique, a été renseigné par le propriétaire dans le cahier de suivi, associé à la date, le nom commercial du produit, la fréquence et la quantité administrée de celui-ci.

En revanche, tout produit ou toute pratique pouvant avoir un impact sur l'arthrose et la boiterie engendrée sont proscrits. C'est le cas des compléments vitaminiques et calciques, des inhibiteurs de la résorption osseuse comme la calcitonine ou les bisphosphonates, des corticostéroïdes, des agents anaboliques, des morphiniques ou de la physiothérapie.

3. Complément alimentaire évalué

Le but de l'étude est de tester l'efficacité ainsi que la tolérance d'un complément alimentaire chez les chiens inclus. Le produit testé est constitué de 70% de farine de ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*) et de 30% de farine de ténébrion meunier dégraissée. Le ténébrion est un insecte de la famille des coléoptères également appelé ver de farine à l'état larvaire (figures 35 et 36).



Figure 35 : Tenebrio molitor adulte [117]



Figure 36 : Vers de farine [118]

Le profil nutritionnel de la farine utilisée dans l'étude est indiqué dans le tableau IV ci-dessous. Cependant pour raison de confidentialité, la composition du produit testé n'est pas connue ni précisée dans ce travail.

Tableau IV : Profil nutritionnel du complément alimentaire évalué

Nutriment	Quantité pour 100 g de produit
Energie métabolisable	520 kcal
Protéines brutes	60 g
Glucides	4,9 g
Cendres brutes	3,7 g
Vitamine D3	40 µg
Vitamine K1	7000 µg
Choline (vitamine B)	160 mg
Potassium	650 mg
Calcium	61 mg
Phosphore	712 mg
Cuivre	2 mg
Fer	6 mg
Manganèse	1 mg
Magnésium	270 mg
Sélénium	40 µg
Zinc	13 mg

Le nutriment a été emballé par le sponsor dans des sachets opaques de 100 grammes (figure 37). Chaque sachet comporte les éléments suivants :

- Le numéro de l'étude
- L'identité du chien
- La période pour laquelle il est délivré
- Les conditions de conservation
- Les conseils d'utilisation
- Un numéro de lot
- Une date limite d'utilisation optimale (DLUO).



Figure 37 : Sachet contenant le produit à évaluer (©Mathilde Nguyen Dinh)

Les sachets doivent être conservés dans un endroit sec, à température ambiante et à l’abri de la lumière.

Le nombre de sachets à distribuer par période et par chien est estimé dans le tableau ci-dessous. À chaque visite, le propriétaire doit retourner les sachets vides et non-utilisés contenant le nutriment.

Tableau V : Table de dosage du nutriment selon le poids du chien

Poids du chien (kg)	Quantité de farine par jour (g)	Nombre de paquets pour 1 mois	Nombre de paquets pour 2 mois
2,5 – 5 kg	5	2	3
5,1 – 10 kg	10	3	6
10,1 – 15 kg	15	5	9
15,1 – 20 kg	25	8	15
20,1 – 25 kg	30	9	18
25,1 – 30 kg	35	11	21
30,1 – 35 kg	40	12	24
35,1 – 40 kg	45	14	27
40,1 – 45 kg	50	15	30
45,1 – 50 kg	55	17	33
50,1 – 55 kg	60	18	36
55,1 – 60 kg	65	20	39
60,1 – 65 kg	70	21	42

Les animaux recrutés sont nourris à la maison. La farine est apportée en complément de leur ration habituelle pendant une période de 3 mois.

Le complément alimentaire testé est énergétique, c'est la raison pour laquelle une portion d'alimentation est à retirer quotidiennement à partir du début de la supplémentation. Elle a été calculée pour chaque animal selon la quantité de farine qu'il doit ingérer et la marque de l'aliment habituel. Pour cela l'énergie apportée par la quantité quotidienne de produit testé (en sachant que 100 grammes de farine a une énergie de 520 kilocalories) est divisée par l'énergie métabolisable de l'aliment (en kilocalories par gramme d'aliment). Une fiche de calculs a été élaborée pour chaque chien inclus ; un exemple est joint en annexe 3.

4. Déroulement des visites

Ce paragraphe contient une description du déroulement des visites afin d'avoir une vision globale de l'étude clinique. Par la suite seront détaillés les différents scores et outils utilisés pour le suivi.

Le recrutement des chiens est réalisé à Oniris en amont et au cours de la première visite. Par la suite, les propriétaires ont 4 ou 5 visites planifiées à intervalles réguliers au cours des 3 mois nécessaires pour l'étude pour les suivis et les analyses.

La **première visite** de recrutement (visite 0 aussi nommée V0) permet de recueillir les informations générales de l'animal, telles que les commémoratifs (nom, sexe, race, âge, stérilisation, pour les femelles entières date des dernières chaleurs, gestations antérieures, type et quantité d'aliments, prise de boisson, caractérisation des urines et des selles, traitements antérieurs et actuels, condition de vie, activités, comportement, sommeil, changements récents éventuels) et l'anamnèse concernant l'arthrose. Un examen clinique général, une pesée précise ainsi que l'établissement du score BCS (Body Condition Score) de l'animal sont systématiquement réalisés. Les propriétaires remplissent au cours de cette visite le questionnaire LOAD (Liverpool Osteoarthritis in Dogs) et les critères d'inclusion et d'exclusion sont vérifiés (voir paragraphes suivants). C'était également l'occasion de donner des explications sur le but et le déroulé de l'étude.

Suite aux résultats obtenus et aux réponses du questionnaire LOAD, une seconde visite, nommée V1, est programmée pour l'inclusion du chien deux semaines plus tard. La date de ce rendez-vous est alors fixée comme étant le jour 0 noté D0 dans l'étude pour tous les intervalles de temps calculés par la suite.

Parfois cette visite a été réalisée simultanément à la visite d'inclusion (V1) à cause de contraintes d'emploi du temps.

Au cours de la **visite d'inclusion** nommée **V1** (ou PrOP pour visite Pre-Operative soit pré-opératoire en français), un consentement éclairé est signé en deux exemplaires et remis au propriétaire avant toute procédure. Un numéro d'identification unique est attribué au chien inclus comme décrit dans le paragraphe suivant « identification des animaux ». Une pesée précise suivie d'un examen clinique général puis orthopédique sont réalisés. Puis l'opérateur établit les scores BCS, NRS (Numeric Rating Scale) et VAS (Visual Analogic Scale) décrits ultérieurement avant le passage sur le tapis d'analyse

de la marche. Le questionnaire LOAD est à remplir par les propriétaires si la visite V0 n'a pas été réalisée. De plus, des prélèvements sont effectués. L'urine est prélevée par miction spontanée avec anticipation en amont du rendez-vous ou par cystocentèse afin de l'analyser après la visite pour recueillir les paramètres décrits antérieurement. Un prélèvement sanguin est aussi réalisé et le sang est placé dans trois tubes différents. Le tube hépariné est utilisé pour l'ionogramme et la biochimie. Le tube contenant de l'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) est destiné à la numération formule sanguine et au comptage cellulaire. Elle est réalisée seulement au cours de la première visite comme dans un bilan de santé habituel. Elle permet de déterminer si l'animal inclus ne présente pas d'anomalies de la population des globules blancs et rouges, des plaquettes, de l'hématocrite et de l'hémoglobine. Le nombre de réticulocytes, le volume globulaire moyen, la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine et la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine sont aussi des paramètres retenus. Enfin, l'échantillon prélevé sur un tube sec est centrifugé au laboratoire d'Oniris pour collecte de sérum avant d'être congelé à -20°C. Ce prélèvement est effectué dans l'intention de doser les biomarqueurs sériques à la fin de l'étude. Cette visite est également l'occasion de dispenser le collier d'activité PitPat afin de mesurer l'activité motrice basale du chien sans traitement. Enfin, le cahier de suivi est donné au propriétaire afin qu'il se familiarise et note les observations inhabituelles de leur animal telles que des changements d'aspect des selles ou des vomissements.

CAHIER D'OBSERVANCE A NUTRI OST
(VERSION V1 - 29 JUIN 2021)
REFERENCE DE L'ETUDE : 21-NEH-04

NE PAS OUBLIER DE RAPPORTER CE CAHIER A CHAQUE CONSULTATION

CAS NO. : 0111-0131

NOM DU CHIEN : GIGI

NOM DU PROPRIETAIRE :

SUIVI DE L'OBSERVANCE (SANS TRAITEMENT) :

	Observation particulière
J0	
J1	
J2	
J3	
J4	1 cp Nexgard 10-25mg
J5	
J6	Ysonis 8ml 2x/j + un café 2 sachets
J7	Ysonis 8ml 2x/j
J8	pb de croquettes ayant entrainé un pb digestif
J9	
J10	
J11	
J12	
J13	
J14	
J15	
J16	
J17	

Figure 38 : Cahier de suivi utilisé au cours de l'étude par les propriétaires (©Mathilde Nguyen Dinh)

Environ 15 jours après, une seconde visite nommée V2 est organisée. L'intervalle de temps est nécessaire afin de déterminer l'activité basale du chien à domicile grâce au collier PitPat. Il s'agit de la période témoin de l'animal. L'objectif de la visite est de dispenser le complément alimentaire à évaluer pour le premier mois de traitement et de vérifier l'enregistrement des données du collier.

La **visite V2**, aussi nommée DPO 0 pour Day Post-Operative 0, est réalisée dans le but de dispenser le nutriment pour le mois à venir. Elle correspond donc au début de la période de supplémentation et est programmée à 15 jours plus ou moins 2 jours après la visite V1. Une pesée précise suivie d'un examen clinique général puis orthopédique sont réalisés. Les scores BCS, NRS et VAS sont de nouveau attribués par le clinicien. En amont ou au cours de la visite, le questionnaire LOAD est rempli par le propriétaire. De plus, le remplissage du cahier au cours des deux semaines est vérifié. La démarche du chien est aussi analysée sur le tapis d'analyse de la marche. L'opérateur vérifie également l'enregistrement et s'assure de la réception des données du collier d'activité par OCR. La dispensation du nombre de sachets de farine nécessaire pour un mois de traitement, jusqu'au prochain contrôle est réalisée (tableau V) ainsi qu'une dosette de 5 grammes pour faciliter la distribution. Il est précisé au propriétaire les modalités de conservation (à l'abri de la lumière, à température ambiante et dans un endroit sec) ainsi que de conserver tous les sachets vides pour une restitution à la visite suivante. Une prescription sur le cahier de suivi est complétée. Elle comprend la date de la visite, la quantité de produit testé à donner par jour, l'équivalence en nombre de dosettes ainsi que le lot et le nombre de sachets distribués. La fraction du repas habituel du chien à retirer quotidiennement a été préalablement calculée et est précisée au propriétaire (annexe 3). Enfin, des explications sur le remplissage du cahier à partir du premier jour de traitement sont énoncées. La quantité du produit ingérée par jour, tout effet indésirable ou traitement administré doivent être notés.

CODE ETUDE : 21-NEH-04 Nom du chien : _____ Page 6/13

VISITE DE DEBUT DU TRAITEMENT

Merci de ramener ce cahier et tout traitement/conditionnement restant à votre vétérinaire lors de cette visite :

1ère PRESCRIPTION DU VETERINAIRE :

La dose indiquée ci-dessous sera administrée **EN 1 PRISE PAR JOUR** :

DATE DE PRESCRIPTION	PRESCRIPTION	SIGNATURE DU VETERINAIRE
10/05/2022	30 g / jour soit : 6 mesures	
Numéro de lot		
Nombre de sachets de 100 g remis	9 * 100g	ERA-040622
QUANTITE RECOMMANDEE DE CROQUETTES A RETIRER : 43 g		

CODE ETUDE : 21-NEH-04 Nom du chien : _____ No. []-[]-[] Page 11/13

Date	Dose administrée :		Quantité (en g)
	Oui	Non	
J86	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15g BID
J67	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J68	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J69	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J70	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J71	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J72	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J73	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J74	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J75	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J76	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J77	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J78	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J79	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J80	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J81	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"
J82	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	"

Figure 39 : Exemple de prescription et de tableau de suivi (©Mathilde Nguyen Dinh)

La **visite de contrôle V3** (ou DPO suivi du nombre de jours après le début de la prise du traitement) est programmée 45 jours plus ou moins 4 jours après D0, soit 1 mois après la visite d'inclusion V2. Les sachets restants de farine et les sachets vides sont restitués à l'opérateur. Une pesée précise suivie d'un examen clinique général puis orthopédique sont réalisés. Les scores BCS, NRS et VAS sont attribués par le clinicien. Le questionnaire LOAD est rempli par le propriétaire en amont ou au cours de la visite. Le remplissage du cahier et l'observance au cours du mois de traitement sont vérifiés ainsi que la présence éventuelle d'effets indésirables. Si tel est le cas, un formulaire en ligne nommé « fiches et analyses » doit être rempli par l'opérateur.

La démarche du chien est ensuite analysée sur le tapis d'analyse de la marche. Des prélèvements sanguins et urinaires pour l'analyse biochimique, l'ionogramme, la collecte du sérum et une analyse d'urines sont effectués. Ensuite l'enregistrement des données du collier d'activité est vérifié. Après un remplissage de la feuille de prescription pour la période à venir, le nombre de sachets nécessaires pour 2 mois de traitement présenté dans le tableau 8 est distribué au propriétaire.

La dernière visite V4 est planifiée 105 jours plus ou moins 4 jours après D0, soit deux mois après la visite de contrôle. Il s'agit de la fin de l'étude.

La **visite de fin d'étude V4** (ou DPO suivi du nombre de jours après le début de la prise du traitement) correspond à la fin de la période de supplémentation et est organisée de la même manière que les visites précédentes. Une pesée précise suivie d'un examen clinique général puis orthopédique sont réalisés. Les scores BCS, NRS et VAS sont attribués par le clinicien. Le questionnaire LOAD est

rempli par le propriétaire en amont ou au cours de la visite. Le remplissage du cahier et l'observance au cours des deux mois de traitement sont vérifiés ainsi que la présence éventuelle d'effets indésirables. L'enregistrement des données de l'application PitPat est vérifié. De plus, des prélèvements sanguins pour l'analyse biochimique, un ionogramme et un prélèvement de sang ainsi qu'un prélèvement urinaire sont réalisés. Puis, une dernière analyse de la marche est effectuée sur le tapis à capteurs de pression de l'école. Enfin, le cahier de suivi et les sachets vides et pleins sont collectés.

Une visite supplémentaire peut être envisagée en cas de dégradation de l'état général du chien. Un diagnostic clinique s'impose et des examens complémentaires jugés essentiels sont réalisés. Tous les résultats sont enregistrés en ligne dans des formulaires adaptés.

En plus du suivi apporté par le cahier, des questions supplémentaires sont posées aux propriétaires concernant l'appétence du produit, l'état général et l'activité du chien.

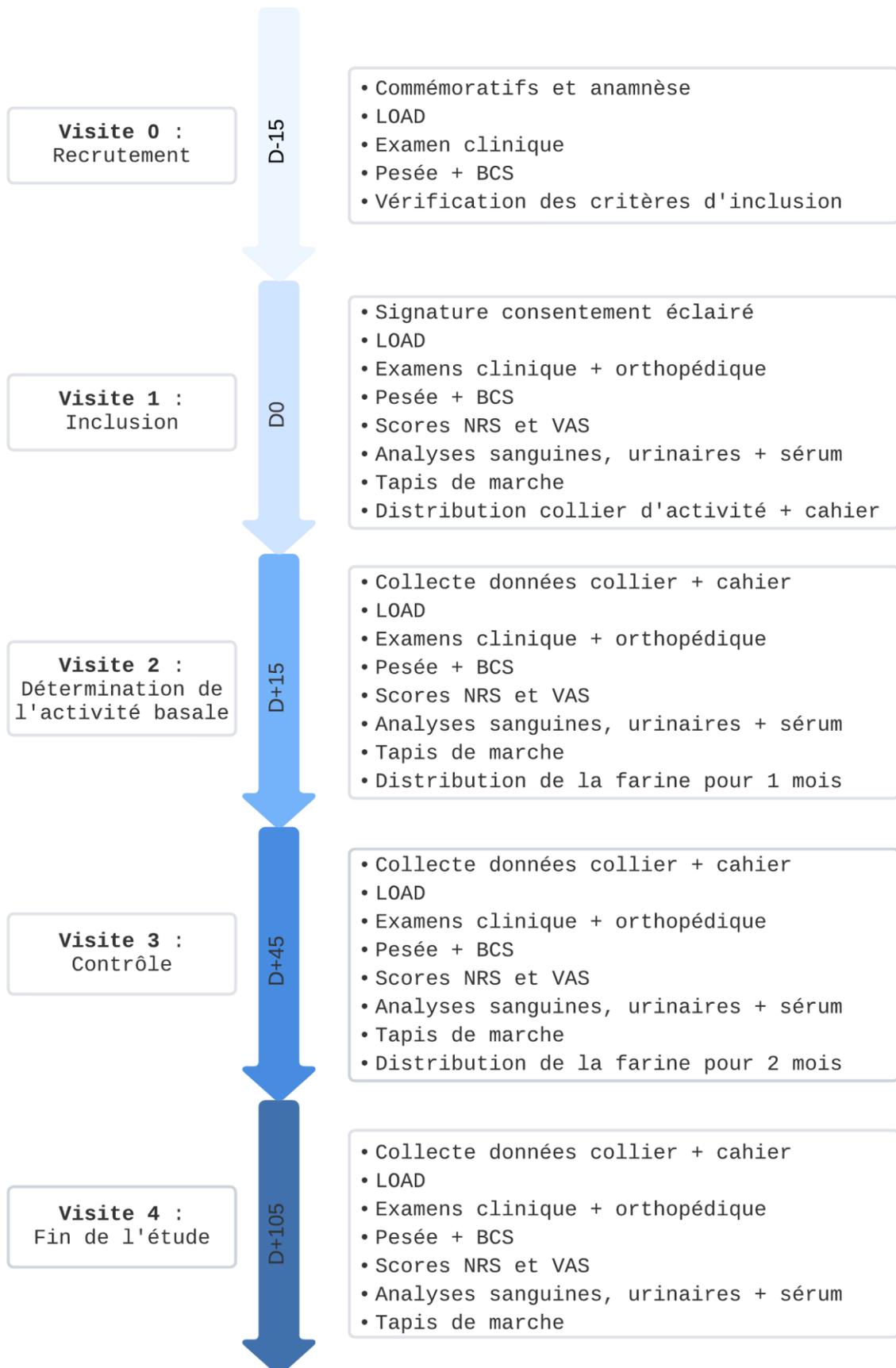


Figure 40 : Frise chronologique du déroulé de l'étude (©Mathilde Nguyen Dinh)

B. Suivi clinique

Afin d'évaluer cliniquement l'animal avant et pendant la prise du nutriment, des examens clinique et orthopédique ont été réalisés régulièrement au cours de chaque visite. En parallèle, des scores de douleur, de boiterie et de condition corporelle ont été attribués par le clinicien et un questionnaire à propos du mode de vie et de la mobilité du chien était rempli par les propriétaires.

1. Examens clinique et orthopédique

Un examen clinique général de l'animal a été réalisé par le clinicien à chaque consultation incluant une pesée, de préférence sur la même balance pour le suivi, une prise de température et l'évaluation des systèmes cardiovasculaire, respiratoire, génito-urinaire, nerveux et tégumentaire. Une attention particulière a été portée sur le système gastro-intestinal par la prise d'informations sur d'éventuels vomissements et la qualité des selles lors du traitement associée à une palpation abdominale minutieuse. De plus, des questions sur l'appétit des patients ont été posées aux propriétaires au cours des visites afin d'évaluer l'appétence du produit.

Par ailleurs, l'examen général a toujours été suivi d'un examen orthopédique complet afin d'évaluer le degré de boiterie ainsi que la localisation de l'atteinte chez un animal ayant une affection locomotrice. Pour chacun des chiens inclus, il a été réalisé de la manière suivante. Tout d'abord un examen à distance, avec une observation de la répartition du poids du corps, de la symétrie des mouvements à différentes allures et une gradation sur 5 de la boiterie comme suit :

Tableau VI : Critères de gradation de la boiterie utilisés au cours de l'étude

Grade	Caractéristiques de la boiterie
0	Absence de boiterie
1	Boiterie légère, intermittente, avec appui et peu de modification de l'allure
2	Boiterie légère, permanente, avec appui et modifications importantes de l'allure
3	Boiterie franche, évidente, avec appui et modification importantes de l'allure
4	Boiterie sévère avec appui très diminué
5	Boiterie sans appui

Puis un examen rapproché a été réalisé. Dans un premier temps, une inspection minutieuse de chaque membre a été effectuée et complétée par la répartition du poids du corps avec l'observation du polygone de sustentation et des angles de chaque articulation. Dans un second temps, la palpation de chacun des membres a pour objectif de rechercher une douleur, une modification des contours. Enfin la mobilisation de chacune des articulations une par une par la réalisation de mouvements forcés a permis une localisation de l'atteinte, une vérification des amplitudes et de la stabilité, une éventuelle présence de la douleur et de réaliser les tests diagnostiques de certaines pathologies telles que la dysplasie du coude.

2. Score BCS (Body Condition Score)

Le score BCS ou indice de condition corporelle en français est un score quantitatif et légèrement subjectif car il dépend de l'appréciation visuelle du vétérinaire. Il a pour but d'évaluer l'état d'embonpoint de l'animal de compagnie. Cet outil a été développé chez les carnivores domestiques. Il s'agit d'une échelle en neuf points corrélée avec le pourcentage de graisse corporelle de l'animal et établie par l'association WSAVA (World Small Animal Veterinary Association) selon des lignes directives internationales. Le BCS se focalise sur des repères anatomiques (les côtes, la taille, les vertèbres lombaires et le bassin) avec une attention particulière sur les vues de profil et dorso-ventrale du chien. Les scores sont des nombres entiers. Une note située entre 1 à 3 correspond à un animal trop maigre tandis qu'une note supérieure à 6 est attribuée à un chien en surpoids. Les notes de 4 et 5 correspondent à un poids idéal. Chaque augmentation de point au-dessus du score de 5 équivaut à une surcharge pondérale de 10% comme décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau VII : Indices de condition corporelle associés aux pourcentages de graisse corporelle et de surcharge pondérale [119]

NA : non applicable

Indice de condition corporelle	% de graisse corporelle	% de surcharge pondérale
4	15 - 19	idéal
5	20 - 24	NA
6	25 - 29	10%
7	30 - 34	20%
8	35 - 39	30%
9	40 - 45 +	40%
> 9	NA	> 40%

L'objectif de cette échelle est de standardiser, d'homogénéiser les résultats pour faciliter leur interprétation. De plus, cet outil facile d'utilisation est un moyen de communication accessible pour les propriétaires et entre vétérinaires.

Dans l'étude, le même opérateur attribuait un score BCS à chaque visite en se rapportant au document de référence de WSAVA de 2013 (annexe 1).

3. Échelle NRS (Numeric Rating Scale)

L'échelle NRS a été utilisée dans notre étude pour évaluer la boiterie et la douleur chez les chiens. Elle est caractérisée par cinq notes allant de 0 à 4 dans deux domaines qui sont la boiterie et la douleur. Le manipulateur attribue une note pour les deux NRS à chaque visite en se référant aux critères énoncés dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Caractéristiques des scores NRS

	0	1	2	3	4
Boiterie (pendant la marche)	Se tient debout et se déplace normalement	Décharge légère ou boiterie légère	Décharge modérée ou boiterie modérée	Décharge sévère ou boiterie sévère	Posture sur trois pattes ou démarche à trois pattes
Douleur (à la palpation et à la manipulation)	Aucune réponse détectable	Réponse légère comme tourner la tête vers le membre	Réponse modérée : retrait du membre	Réponse douloureuse : retrait du membre au moindre mouvement	Ne permet pas la palpation ou manipulation

La douleur observée lors des manipulations pendant l'examen orthopédique peut se manifester par les critères suivants :

- Changement des paramètres physiologiques (augmentation des fréquences cardiaque, respiratoire ou retenue de la respiration)
- Changement de comportement de l'animal (détourne la tête, plainte vocale, contraction musculaire, peur, mouvement de retrait)
- Observation visuelle de l'opérateur.

4. Échelle VAS (Visual Analogic Scale)

L'échelle VAS ou échelle visuelle analogique est un outil destiné à scorer différents paramètres notamment la douleur en médecine humaine. Dans notre étude, il a été utilisé pour évaluer la boiterie chez le chien dans le contexte d'arthrose, comme validé dans l'article de Hielm-Björkman *et al.* [120]. Il s'agit d'une ligne de 100 millimètres de long, graduée de 0 à 10, avec 0 correspondant à aucune boiterie, et à l'opposée, 10 désignant la pire des boiteries possible. Le clinicien place une croix en fonction de l'intensité de la boiterie observée à l'examen lors de chaque visite. Ce score est exprimé ensuite en pourcentage et son évolution est analysée.

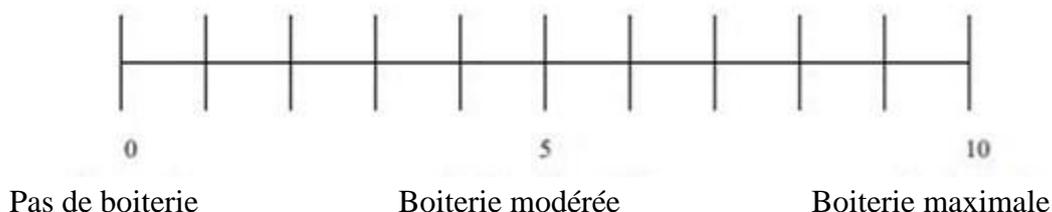


Figure 41 : Échelle VAS de boiterie utilisée durant l'étude (annexe 4)

Les échelles VAS et NRS sont utilisées en complément de l'examen orthopédique ; l'examen VAS s'est avéré valide et répétable dans l'évaluation de la douleur et de la boiterie chez les chiens atteints d'arthrose d'après la publication [121].

5. Questionnaire LOAD (Liverpool Osteoarthritis in Dogs)

Destiné aux chiens dont l'arthrose a été préalablement diagnostiquée par le vétérinaire, le questionnaire LOAD est recommandé pour déterminer la présence et la sévérité de l'affection articulaire. Il est à remplir au cours des visites V0 ou V1, V2, V3 et V4 par le propriétaire afin qu'il caractérise l'arthrose de son animal. Idéalement lors de chaque visite la même personne complète le questionnaire. Il comprend treize questions à choix multiple concernant le mode de vie et la mobilité de leur animal dans la semaine précédant la visite. Chaque question est codée de 0 à 4 et la somme de toutes les questions correspond à un score qui est attribué par le manipulateur après retour du questionnaire. Il s'agit d'un score subjectif pour que les propriétaires caractérisent l'arthrose de leur animal et son évolution dans le temps.

Un résultat compris entre 0 et 10 témoigne d'une affection bénigne, entre 11 et 20 d'un trouble articulaire modéré, entre 21 et 30 d'une affection sévère tandis qu'un score situé entre 31 et 52 correspond à une pathologie extrême.

Le questionnaire LOAD utilisé dans l'étude est présenté dans l'annexe 2.

C. Suivi biologique

Des analyses sanguines et urinaires ont été réalisées en amont et pendant le traitement afin d'évaluer les conséquences du produit testé sur la santé des chiens.

1. Analyses biochimiques

Des analyses biochimiques ont été réalisées par le laboratoire central de l'école LabOniris lors des visites V1, V3 et V4. Afin de vérifier si le produit riche en protéines a une répercussion sur le foie, différents paramètres hépatiques ont été dosés. Les enzymes hépatiques avec les ALAT (alanines transférases) sont des témoins d'une cytolysse hépatique tandis que les PAL (phosphatases alcalines) sont des marqueurs d'une cholestase intra ou extra-hépatique. Ensuite, le cholestérol est également mesuré car témoin d'un déséquilibre métabolique. La protéinémie associée à l'albuminémie sont également évaluées pour explorer l'état du foie et des reins. Les deux autres paramètres rénaux dosés classiquement sont l'urémie et la créatininémie. La dégradation des protéines produit de l'ammoniac alors converti en urée par le foie puis éliminée par filtration glomérulaire au niveau des reins. Le taux d'urée dans le sang est donc un témoin du fonctionnement des reins mais également du foie. La créatinine est un produit de la dégradation de la créatine musculaire éliminée par les reins. C'est un marqueur indirect et tardif du débit de filtration glomérulaire. La glycémie est ajoutée pour obtenir un bilan biochimique complet.

2. Ionogrammes

Afin de compléter l'analyse biochimique un ionogramme est réalisé simultanément. Il comprend un dosage du sodium, ion principal du liquide extracellulaire responsable de la pression osmotique et des mouvements d'eau dans les cellules. L'ion potassium est majoritairement intracellulaire et des troubles de la kaliémie engendrent de graves conséquences sur l'organisme, en particulier cardiaques et nerveuses. Son équilibre est lié aux apports par l'alimentation en particulier, aux transferts entre les deux secteurs cellulaires et par son excrétion majoritairement rénale [122]. La chlorémie complète l'ionogramme. Les variations physiologiques du chlore accompagnent celles du sodium. Enfin, le phosphore est un élément essentiel pour l'intégrité structurelle des os. Il possède par ailleurs d'autres rôles tels que le métabolisme énergétique ou le maintien de la structure de la membrane cellulaire. Cet élément est apporté dans la nourriture chez les chiens ainsi que dans le complément alimentaire testé dans l'étude. C'est la raison pour laquelle il est mesuré ici.

3. Analyses urinaires

Une analyse urinaire est réalisée aux visites V1, V3 et V4. Le prélèvement urinaire se fait par miction spontanée ou par cystocentèse et différents paramètres sont évalués.

La densité urinaire est mesurée au réfractomètre. Elle est définie comme le rapport de la masse volumique de l'urine, dépendant des solutés présents sur la masse volumique de l'eau pure à 4°C. Ce paramètre indique la capacité du rein à concentrer ou à diluer l'ultrafiltrat glomérulaire. De nombreux facteurs impactent sa valeur tels que l'alimentation, l'apport hydrique, l'état d'hydratation. Chez les chiens, la densité urinaire normale est supérieure à 1,030. Une valeur située entre 1,008 et 1,012 indique une isosthénurie, c'est-à-dire une même osmolarité que le plasma sanguin. Les urines sont hypersthénuriques si la densité est supérieure à 1,012 et hyposthénuriques si la densité est inférieure à 1,008. La valeur de la densité urinaire varie au cours de la journée (elles sont plus concentrées le matin) et si l'animal est atteint d'une pathologie ayant une répercussion sur les reins. En cas de glycosurie ou protéinurie, la densité urinaire augmente.

Le reste de l'analyse est réalisé à l'aide d'une bandelette urinaire. Il s'agit d'une analyse semi-quantitative sur urines non centrifugées excepté si elles sont très pigmentées. La lecture est visuelle et extemporanée.

Tout d'abord, le pH urinaire (potentiel Hydrogène) mesure la concentration de l'ion hydrogène dans les urines. Chez l'individu sain, il est situé entre 5,5 et 7,5. En dessous de 5,5, les urines sont acides et au-dessus de 7,5, il y a alcalinisation des urines. Les urines peuvent être alcalinisées après un repas, en cas d'infection urinaire ou de lithiase vésicale.

Les leucocytes sont interprétés chez le chien. Une coloration positive de ce paramètre signifie une infection urinaire. Cependant une valeur négative n'exclut pas une infection car le témoin est peu sensible.

Les protéines urinaires sont comprises entre 0 à 3 croix et doivent être interprétées en fonction de la densité urinaire. Si les urines sont hypersthénuriques, la protéinurie peut aller jusqu'à une croix sur 3, tandis que des urines isosthénuriques ou hyposthénuriques ne présentent normalement pas de protéinurie. La bandelette devient positive à partir de 200 à 300 milligrammes de protéines par litre d'urine. Les causes de protéinurie sont multiples et témoignent d'une affection rénale. Un dosage quantitatif doit être réalisé pour l'objectiver.

L'urine normale ne contient pas de glucose. Le seuil de réabsorption tubulaire du glucose est de 1,8 gramme par litre d'urine. Une glucosurie associée à une hyperglycémie indique un diabète sucré alors qu'une glucosurie sans hyperglycémie reflète une tubulopathie.

Les corps cétoniques ne sont pas présents physiologiquement dans les urines. Une cétonurie témoigne d'un diabète acido-cétosique ou un jeûne prolongé mais une absence de cétonurie ne peut exclure une acidocétose.

La bilirubinémie chez un chien sain est négative. Une coloration positive de ce paramètre indique qu'une hyperbilirubinémie est probablement présente, auquel cas un dosage sanguin est recommandé pour le confirmer.

La zone sang - hémoglobine est à interpréter selon la méthode de prélèvement. La cystocentèse peut provoquer un saignement et positiver la bandelette. Cette dernière présente une forte sensibilité puisqu'une hématurie microscopique peut être détectée. L'hémoglobine et la myoglobine sont décelées par ce moyen.

4. Analyses des biomarqueurs

Deux biomarqueurs sériques ont été dosés pour le suivi des chiens aux visites V1, V3 et V4. Il s'agit de la protéine C-réactive nommée CRP, évaluant l'inflammation et du Carboxy-Terminal Collagen Crosslink de type 1 ou CTX1, marqueur de résorption osseuse.

La protéine C-réactive est produite par le foie et est dosable chez le chien. C'est une protéine de la phase aiguë de l'inflammation. Elle est dosée dans le sang ou dans le liquide articulaire dans le but de mettre en évidence précocement une inflammation active, de caractériser l'intensité de la réponse inflammatoire mais également de suivre son évolution au cours du temps grâce à une cinétique. En effet, suite à un stimulus, cette dernière augmente environ 4 à 6 heures après [123]. Il s'agit d'un marqueur précoce, objectif et quantitatif de l'inflammation. C'est la raison pour laquelle cette protéine est utilisée pour le diagnostic et la surveillance de nombreuses affections telles que la bronchopneumonie, le pyomètre ou une infection virale [124,125]. Dans le cadre de l'arthrose, ce biomarqueur est utilisé en humaine car le dosage de CRP reflète l'inflammation dans l'articulation des patients souffrant de cette pathologie [126]. Concernant les animaux, la concentration de CRP est utilisée pour discriminer l'arthrite septique de l'arthrose chez les chiens [127] mais une unique mesure de CRP ne permet pas de déterminer si un chien avec des symptômes souffre d'arthrose [128].

Le second biomarqueur dosé dans l'étude est le CTX1. Les CTX sont des peptides produits lors de la dégradation de l'extrémité C-terminale du collagène et relargués dans le sang. Il en existe deux sortes, les CTX1 et les CTX2, selon le type de collagène. Le CTX1 est un marqueur de résorption osseuse. En effet, les concentrations sériques sont élevées lors de forts remodelages osseux. C'est pourquoi, il est utilisé chez l'Homme dans le suivi de maladies telles que l'ostéoporose [129]. Des variations des concentrations sériques sont observées selon le moment de la journée, l'âge, le sexe et possiblement l'alimentation du chien [130,131]. Le dosage est utilisé chez le chien pour le diagnostic de maladies comprenant des remodelages osseux comme l'ostéosarcome ou l'arthrose [132,133].

D. Suivi fonctionnel

Afin d'obtenir des données plus objectives, l'activité et la démarche des chiens ont été évaluées grâce à un collier d'activité et un tapis d'analyse de la marche.

1. Tapis d'analyse de la marche : Walkway (Tekscan™)

La fonction locomotrice des animaux inclus a été étudiée grâce au tapis d'analyse de la marche d'Oniris. Il s'agit de la version HRV4 du Walkway® de Tekscan™, présentée dans la partie bibliographique.

La démarche des animaux a été analysée lors des visites V1, V2, V3 et V4. Cette analyse a pour but une mesure objective de la boiterie en complément du suivi clinique. Un minimum de deux foulées par chien et par passage avec au minimum cinq passages (ou runs).

Les chiens ont été pesés, de préférence sur la même balance en amont de l'analyse. Chaque passage a été standardisé. Le chien a été tenu en laisse non tendue par un opérateur pour ne pas exercer de force de traction et ainsi modifier les appuis. Libre de ses mouvements, il a néanmoins été guidé par un opérateur appartenant au protocole ou son propriétaire situé à côté pour marcher sur le Walkway. Simultanément, des encouragements vocaux ou une stimulation à l'aide de friandises ont été mis en place afin de faire progresser le chien. Lors d'un run, le chien était accompagné dans un sens ou l'autre du tapis en prenant suffisamment d'élan afin d'arriver sur la plateforme avec une allure constante. Après chaque passage, une courte pause a été accordée au chien pour récupérer et exécuter un demi-tour.



Figure 42 : Photo du Walkway HRV4® utilisé dans le cadre de l'étude (©Mathilde Nguyen Dinh)

a) Paramètres retenus pour l'étude

Nous avons choisi de retenir quatre paramètres de membres afin d'évaluer objectivement l'impact du traitement sur la démarche des chiens inclus dans l'étude.

- **Vertical Impulse** exprimée en pourcentage du poids corporel par seconde (%BW*seconde) : évalue la valeur d'impulsion du membre sur la plateforme
- **Maximum force** (nommée aussi Peak Vertical Force) ou la force verticale maximale exprimé en pourcentage du poids corporel (%BW) : évalue la force maximale moyenne exercée par la patte sur le tapis
- **Contact area** ou la surface de contact exprimée en centimètres carrés (cm²) : évalue la surface sur laquelle entre le membre en contact avec la plateforme au cours de l'appui
- **Body Weight Distribution** ou la distribution du poids corporel exprimée en pourcentage (%) : évalue la répartition du poids corporel sur chaque membre au cours de l'appui.

b) Normalisation au poids

Certains paramètres sélectionnés (Vertical Impulse et Maximum force) sont exprimés en pourcentage de poids corporel. Ceci permet une comparaison entre les résultats des différentes visites pour chacun des chiens inclus. Avant chaque passage sur la plateforme, le poids des chiens a été relevé et retransmis sur le logiciel afin que ce dernier soit calibré et calcule directement les paramètres de la manière suivante :

$$\text{Paramètre (\%BW)} = \frac{\text{Paramètre (kg)} \times 100}{\text{Poids du chien (kg)}}$$

Équation : conversion établie par le logiciel des paramètres Vertical Impulse et Maximum force en pourcentage de poids corporel (%BW)

c) Acquisition des données

En amont de la marche sur le tapis et pour chaque nouveau patient, une nouvelle acquisition a été créée. Les données du propriétaire et celles de l'animal dont son poids du jour ont été ajoutées. Une mesure de la hauteur au garrot et de la longueur rostro-caudale sont également à renseigner lors du premier passage du chien. Ensuite l'acquisition des runs se déroule toujours de la même manière : un nouvel enregistrement est à lancer. L'animal effectue alors un premier passage puis l'opérateur sauvegarde l'enregistrement avant l'exportation.



Figure 43 : Photo du matériel associé au Walkway (©Mathilde Nguyen Dinh)

d) Sélection des runs

Cinq runs valides sont nécessaires pour exploiter les données. Un essai est considéré comme valide s'il comprend les caractéristiques suivantes : un passage avec les quatre membres sur le tapis du début à la fin du run, une allure de marche tout au long de l'enregistrement sans traction au niveau de sa laisse. De plus, le chien ne doit pas s'arrêter, tourner la tête et ne pas être stressé au cours des enregistrements. Après chaque passage, une visualisation des empreintes a été réalisée afin de sélectionner les runs valides (figure 38).



Figure 44 : Exemple de tracé établi au cours d'un run chez un chien avec le Walkway de Tekscan™ (©Martial Masson)

2. Collier d'activité

L'activité motrice de l'animal est évaluée à domicile grâce à un moniteur d'activité fonctionnant par accélérométrie. Celui de la marque PitPat a été choisi. Il est présenté sous forme d'un boîtier avec capteurs d'activité, résistant à l'eau et pesant 16 grammes. Il est attaché sur le collier du chien à partir de la visite d'inclusion V1 puis porté en continu jusqu'à la fin de l'étude. Une application téléchargée sur le téléphone des propriétaires permet de suivre l'activité quotidienne de leur animal. Avec l'accord des propriétaires, un partage de données avec le responsable de l'étude clinique est réalisé. Une synchronisation hebdomadaire est recommandée pour obtenir au fur et à mesure les données. Le moniteur peut être gardé après la sortie de l'étude. L'activité basale de l'animal est enregistrée entre les visites V1 et V2 et correspond à la période d'une quinzaine de jours sans traitement. Puis l'évolution au cours de la période de supplémentation est mesurée entre les visites V2 et V4. Le collier enregistre l'intensité, la fréquence et la durée de l'activité quotidienne. L'activité quotidienne peut être différenciée en trois types : la marche, la course et le jeu.



Figure 45 : Collier d'activité PitPat et son application associée (©Amazon)

E. Critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion des animaux

1. Critères d'inclusion

Afin d'être inclus dans l'étude, chaque chien doit répondre aux critères suivants :

- Chien de toute race correspondant aux indications d'âge énoncées dans le tableau III
- Être atteint d'arthrose liée à la vieillesse et non à un traumatisme ostéoarticulaire antécédent
- Le score établi par le questionnaire LOAD évaluant les troubles articulaires chez les chiens doit être situé entre 5 et 30 inclus.

2. Critères de non-inclusion

Les chiens présentant un ou plusieurs des critères suivants ne peuvent pas faire partie de l'étude :

- Un score BCS supérieur à 9
- Un score LOAD inférieur à 5 ou supérieur à 31 à la première visite
- Un traitement à base d'anti-inflammatoires non stéroïdiens dans les 15 jours précédant la première visite
- Un traitement anti-inflammatoire ou antalgique continu ne pouvant être interrompu pendant l'étude
- Une intervention chirurgicale dans le mois avant l'entrée dans l'étude
- Un traumatisme récent de moins d'un an
- Une boiterie sans appui permanent
- Une maladie métabolique ou un cancer du système locomoteur
- Une maladie neurologique
- Tout traitement médical pouvant influencer le métabolisme osseux
- Une insuffisance rénale
- Un mauvais état général
- Une maladie concomitante interférant avec les objectifs de l'étude
- Une espérance de vie inférieure à 6 mois
- Femelle reproductrice ou allaitante
- Toute allergie alimentaire.

3. Retrait des animaux en cours d'étude

Un retrait en cours d'étude peut être envisagé en cas de situation suivante :

- Un effet indésirable impliquant l'arrêt du traitement
- Un effet indésirable entraînant une utilisation d'un traitement interdit dans l'étude
- Le chien reçoit un médicament concomitant non autorisé pouvant interférer avec les évaluations de l'étude

- Une décision de retrait prise par le propriétaire
- Une décision prise par le sponsor de l'étude
- Une gestation au cours de l'étude
- Une mauvaise coopération du chien ou du propriétaire avec les procédures de l'étude
- Une perte de suivi de l'animal engendrée par exemple par un déménagement
- Toute autre raison invalidant les données.

La procédure de retrait nécessite un examen clinique de l'animal, un remplissage du questionnaire LOAD, la détermination du score de condition corporelle BCS, du score des échelles NRS et VAS, une analyse sanguine biochimique, hématologique, un ionogramme et un prélèvement pour dosage des marqueurs de l'inflammation. Le produit à tester restant et le cahier de suivi sont récupérés et analysés. Le formulaire de retrait est rempli en ligne afin d'indiquer le motif.

Les chiens retirés en cours d'étude ne sont pas remplacés du fait de leur numéro d'identification unique.

4. Identification des animaux

Un numéro d'identification unique à quatre chiffres est attribué à chaque chien remplissant les critères d'inclusion. Les deux premiers chiffres correspondent au code du centre de recrutement. Pour Oniris il s'agit de 01. Les deux derniers chiffres sont attribués dans l'ordre du recrutement des chiens et vont de 00 à 20.

F. Statistiques

Dans notre étude, chaque animal recruté est son propre contrôle. Les différences interindividuelles des chiens et le faible nombre d'animaux inclus impliquent une analyse des résultats uniquement de manière descriptive.

IV. Résultats

A. Recrutement des chiens

Le recrutement des chiens à l'école a été réalisé de différentes manières entre le 07 février et le 24 octobre 2022. Tout d'abord, une diffusion au sein du CHUV par l'intermédiaire des professeurs a permis de recruter le premier chien. La séparation des différents services au sein de l'école a généré des difficultés de recrutement. Un autre moyen de communication a été mis en place avec l'utilisation des réseaux sociaux destinés aux anciens et actuels étudiants d'Oniris. Ensuite, un chien a pu intégrer l'étude suite à une consultation au service de chirurgie. Enfin, trois autres ont été recrutés grâce à OCR, promoteur de l'étude.

B. Profil des chiens inclus

Au total, sept chiens ont été recrutés dont six d'entre eux ont pu terminer l'étude. En effet, un des animaux a dû quitter l'étude prématurément au bout de 54 jours après l'inclusion, soit 39 jours de prise du complément alimentaire pour cause d'effets indésirables détaillés ultérieurement. Parmi les chiens inclus, cinq sont des femelles et deux mâles. À la visite d'inclusion V1, ils avaient entre 7 et 15 ans (âge moyen de 10,5 ans) et pesaient entre 22 et 66 kilogrammes. La plupart sont stérilisés (71%). Ils appartiennent à des races moyennes à géantes.

*Tableau IX : Caractéristiques des chiens recrutés au cours de l'étude
M : mâle, F : femelle*

Identité	Nom	Race	Sexe	Âge (année)	Poids début étude (kg)	Statut	Inclusion
01-00	CANELLE	Croisé berger	F	15	27,9	stérilisée	retrait prématuré
01-01	TISCA	Berger de Beauce	F	13,5	31,2	stérilisée	oui
01-02	GIGI	Setter anglais	F	11	24,6	stérilisée	oui
01-03	LOULOU	Epagneul breton	M	7	22,7	entier	oui
01-04	INFINITI	Leonberg	F	9	65,8	stérilisée	oui
01-05	QUENI	Labrador	F	9	29,6	entière	oui
01-06	ICAR	Labrador	M	9,5	36,9	stérilisé	oui

Les visites ont été programmées les unes après les autres, de manière à respecter les intervalles fixés par le protocole. Cependant, pour le chien 01-03, la visite V3 de contrôle après un mois de traitement n'a pu être réalisée pour cause de fermeture estivale de l'école.

*Tableau X : Dates des visites des animaux au cours de l'étude
NR : non réalisé*

ID chiens	V0 : D-15	V1 : D0	V2 : D+15	V3 : D+45	V4 : D+105
01-00	17/03/2022	23/03/2022	07/04/2022	16/05/2022	Retrait
01-01	07/02/2022	24/02/2022	10/03/2022	07/04/2022	09/06/2022
01-02	10/05/2022	10/05/2022	19/05/2022	14/06/2022	06/09/2022
01-03	17/06/2022	17/06/2022	28/06/2022	NR	15/09/2022
01-04	24/10/2022	24/10/2022	07/11/2022	05/12/2022	08/02/2023
01-05	24/10/2022	24/10/2022	07/11/2022	05/12/2022	08/02/2023
01-06	24/10/2022	24/10/2022	07/11/2022	05/12/2022	08/02/2023

C. Tolérance du complément alimentaire évalué

La tolérance du produit testé et la sécurité pour l'animal ont été évaluées par des examens cliniques lors de chacune des visites et par le remplissage du cahier par les propriétaires.

1. Examens cliniques

L'ensemble des examens cliniques n'a pas montré de changement majeur chez les chiens inclus hormis le chien 01-00. Au cours du premier mois de traitement, le chien est devenu dysorexique et a présenté des troubles digestifs listés dans le paragraphe suivant. À l'examen clinique de la visite de contrôle V3, le chien est amaigri (perte de 5% de son poids entre V2 et V3), davantage essoufflé et apathique.

Le chien 01-02 qui avait des antécédents de dermatose prurigineuse et recevait ponctuellement des traitements à base de corticoïdes ou d'anticorps monoclonaux n'a pas présenté de nouvel épisode de sa maladie au cours de l'étude. Enfin, le chien 01-03 a présenté une amélioration de la qualité de son poil avec un pelage plus soyeux.

2. Acceptabilité du complément alimentaire évalué

Le produit testé avait une bonne appétence pour la plupart des chiens (01-01, 01-03, 01-04, 01-05 et 01-06). Pour le chien 01-02 les propriétaires ont même trouvé un subterfuge afin qu'il ingère la quantité de farine nécessaire en la mélangeant à des haricots verts cuits à la vapeur. La quantité importante de poudre par rapport à celle de croquettes en était probablement la cause.

Enfin, le chien 01-00 est resté dysorexique pendant les 39 jours de complémentation en laissant près de la moitié de sa ration alimentaire de côté chaque jour.

3. Effets indésirables

Des troubles digestifs ont été remarqués chez deux chiens. Le premier, le chien 01-00 a présenté de la dysorexie dès la supplémentation. Des selles molles ainsi que deux épisodes de vomissement ont été constatés une semaine avant son retrait. De plus, l'amaigrissement et l'abatement constatés lors de la visite de contrôle V3 ont amené à la décision de retrait de l'étude après 54 jours de participation, raison pour laquelle ses données ne seront pas analysées par la suite.

Le second, le chien 01-03 a fait des selles plus molles au cours du traitement, sans pour autant qu'elles soient associées à de la diarrhée.

Le chien 01-02 a eu une cystite bactérienne deux semaines après le début du traitement qui s'est résolue sous antibiothérapie. Elle n'a pas été récidivante au cours du traitement.

4. Variations pondérales

Les chiens ont été pesés, de préférence sur une même balance lors de chaque visite au cours de l'étude (tableau XI). L'évolution du poids a été évaluée entre le début de la prise du traitement (V2) et la fin (V4). Parmi les animaux inclus et étant allés à la fin de l'étude, trois chiens ont montré une augmentation du poids corporel de 3,5% à près de 5% (01-01, 01-03 et 01-04). Un chien s'est maintenu autour de son poids de forme (01-02) et les deux derniers (01-05 et 01-06) ont perdu environ 5% de leur poids corporel au cours de l'étude. À l'inclusion, le poids moyen était de 35,1 kilogrammes et de 35,3 kilogrammes à la fin de l'étude. Une légère augmentation de 0,7% du poids corporel moyen des chiens inclus au cours de l'étude a été constatée.

Tableau XI : Évolution du poids des chiens au cours de l'étude

ID chien	Poids (kg)				Evolution entre V2 et V4 (%)
	V1 D0	V2 D15	V3 D45	V4 D105	
01-01	31,2	30,7	31,3	32,1	+ 4,6 %
01-02	24,6	24,4	25	24	- 1,6 %
01-03	22,7	22,7		23,5	+ 3,5 %
01-04	65,8	66,6	67	69,7	+ 4,7 %
01-05	29,6	29,2	28,8	27,6	- 5,5 %
01-06	36,9	36,9	36,6	35,1	- 4,9 %

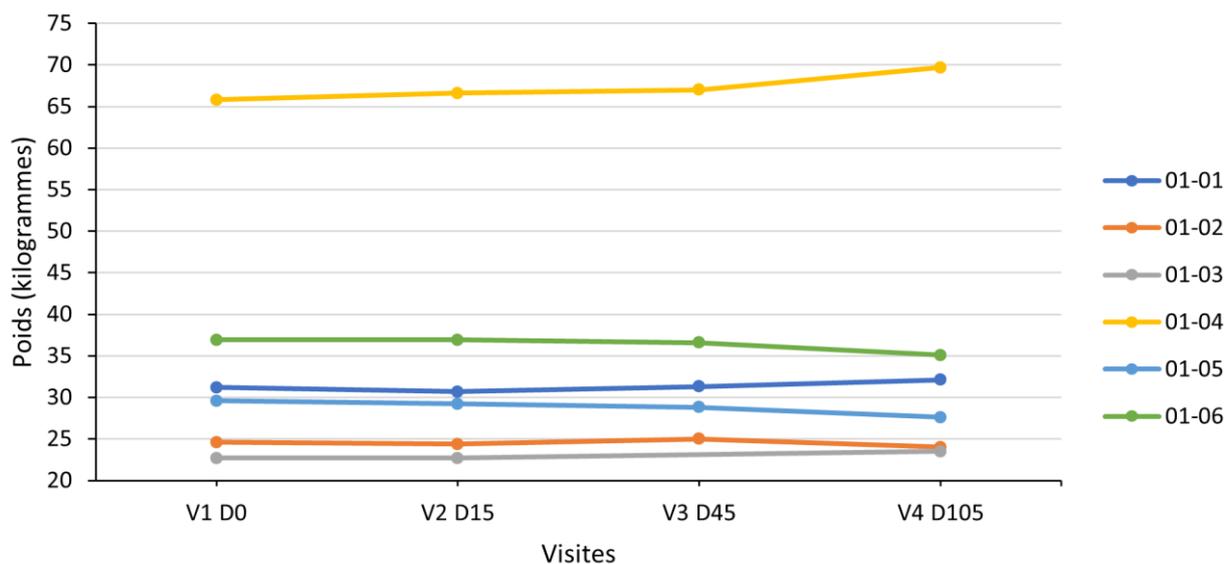


Figure 46 : Graphique de l'évolution du poids des chiens inclus au cours des visites

D. Résultats cliniques

1. Score LOAD

Un score LOAD a été attribué par les propriétaires respectifs des chiens aux visites V0 (ou V1), V2, V3 et V4 pour grader la sévérité de l'arthrose au quotidien. L'évolution est mesurée entre la visite V2, où le produit testé commence à être administré, et la visite V4 de fin d'étude.

Parmi les chiens recrutés, trois ont eu un score LOAD diminué entre V2 et V4 et ont changé de catégorie (de sévère à modéré pour deux chiens et de modéré à bénin pour un chien). C'est une évolution positive remarquée par les propriétaires avec une amélioration de la boiterie au quotidien et davantage de mobilité de leur animal au cours du traitement. Deux chiens n'ont pas changé de catégorie au cours des visites car leur score n'a pas évolué (stagné ou augmenté d'un point seulement). Le chien 01-02 a lui changé de catégorie entre la visite d'inclusion et celle du début du traitement. Son état arthrosique s'est dégradé en amont puis stabilisé au cours du traitement selon son propriétaire.

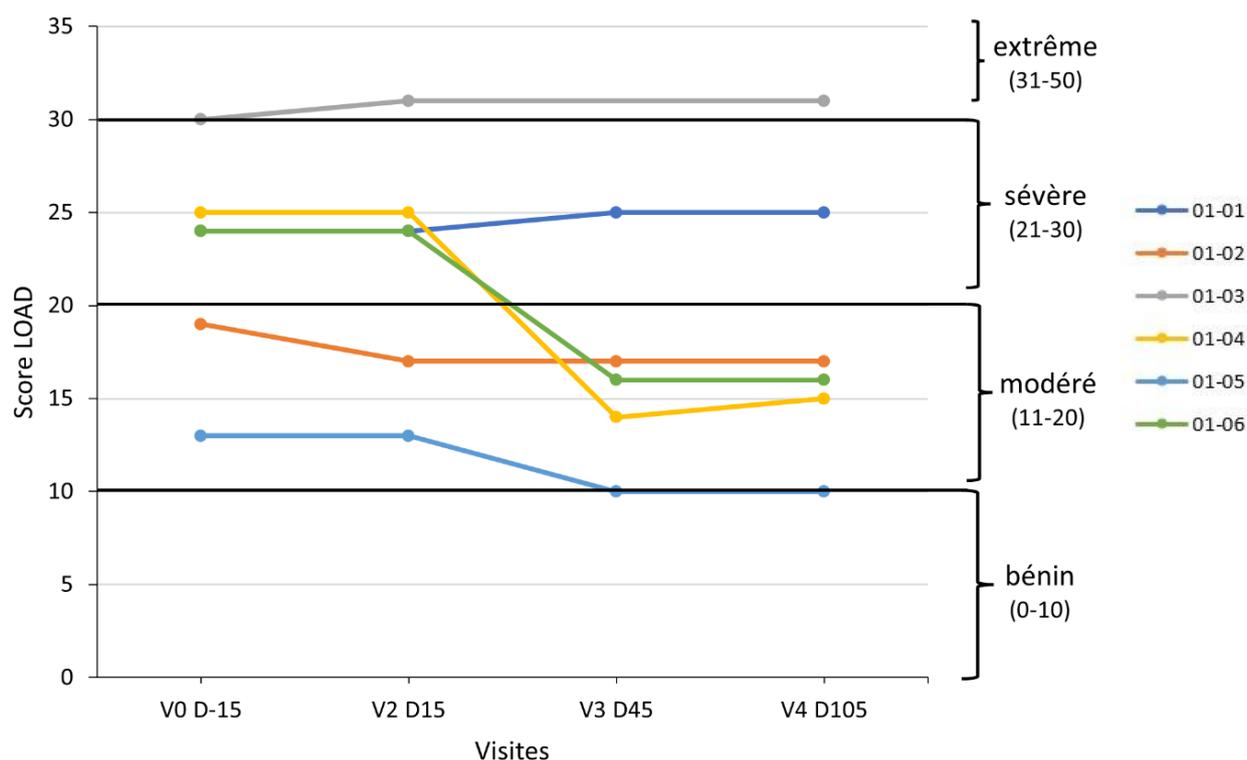


Figure 47 : Graphique de l'évolution des scores LOAD des chiens inclus au cours de l'étude

2. Scores vétérinaires : BCS, VAS, NRS

a) Score BCS

A l'inclusion, la note d'état corporel des six chiens était de 6,1, ce qui signifie que les chiens étaient dans l'ensemble dans un léger état d'embonpoint. Au cours de l'étude, cinq chiens ont conservé leur score initial (soit 85% des animaux) malgré les quelques variations pondérales observées. Seulement un chien a perdu un point de score mais sa note finale indique un état d'embonpoint correct. Ces observations correspondent aux variations pondérales énoncées précédemment.

Tableau XII : Évolution des scores BCS au cours de l'étude

ID chien	Body Condition Score				Évolution entre V2 et V4
	V1	V2	V3	V4	
01-01	6	6	6	6	0
01-02	6	6	6	6	0
01-03	7	7		7	0
01-04	7	7	7	7	0
01-05	6	6	6	5	-1
01-06	5	5	5	5	0

b) *Échelle NRS*

L'échelle NRS est utilisée dans l'étude afin d'attribuer un score de la boiterie et de la douleur associés lors de chaque visite et de mesurer leur évolution entre le début et la fin du traitement. Les valeurs sont situées entre 0 et 4 pour les deux échelles. Les scores moyens à l'inclusion étaient de 1,2 pour la boiterie et de 1 pour la douleur. Au cours de l'étude, nous avons noté une stabilisation des scores de boiterie et de douleur chez les deux tiers des chiens.

Le chien 01-04 a présenté une aggravation d'un point du score de boiterie à la fin de l'étude, compatible avec les résultats de l'échelle VAS.

Le chien 01-05 est le seul présentant une diminution des deux scores de 1 point chacun, traduisant une amélioration de la boiterie avec la prise du traitement.

Le chien 01-06 présentait une réponse modérée à la manipulation au cours des premières visites puis la douleur a diminué après le premier mois de traitement, ce qui concorde avec les examens orthopédiques.

Tableau XIII : Évolution des scores NRS de boiterie et de douleur au cours de l'étude

ID chien	NRS boiterie				Evolution entre V2 et V4
	V1	V2	V3	V4	
01-01	1	1	1	1	0
01-02	1	1	1	1	0
01-03	1	2		2	0
01-04	1	1	1	2	1
01-05	2	2	1	1	-1
01-06	1	1	1	1	0

ID chien	NRS douleur				Evolution entre V2 et V4
	V1	V2	V3	V4	
01-01	0	0	0	0	0
01-02	1	1	1	1	0
01-03	2	1		1	0
01-04	0	0	0	0	0
01-05	1	1	1	0	-1
01-06	2	2	1	1	-1

c) *Échelle VAS*

L'échelle visuelle analogique allant de 0 à 10 est utilisée dans l'étude pour évaluer la boiterie lors de chaque visite. A l'inclusion, elle était située entre 1,5 et 5 avec une moyenne pour les six chiens de 2,4. L'évolution a été mesurée entre le début et la fin du traitement. Au cours de l'étude, une

diminution ou stagnation du score a été observée chez deux tiers des animaux, témoignant une amélioration de la boiterie. Cependant, un tiers des chiens ont un score diminué, signifiant une aggravation de la boiterie au cours de l'étude. Ces observations sont concordantes avec les examens orthopédiques réalisés lors de chaque visite et détaillés ci-après.

Tableau XIV : Évolution des scores VAS au cours de l'étude

ID chien	VAS				Evolution entre V2 et V4
	V1	V2	V3	V4	
01-01	1,5	1,5	1,5	1,5	0
01-02	2	2	2	1,5	-0,5
01-03	5	5		6	1
01-04	1,5	1,5	1	2	0,5
01-05	2,5	2,5	1,5	1	-1,5
01-06	2	2	1,5	1,5	-0,5

E. Résultats biologiques

1. Analyses biochimiques et ionogrammes

Les analyses biochimiques ont toutes été réalisées par le laboratoire de l'école vétérinaire, exceptées celle du chien 01-02 à la visite 1, réalisée chez son vétérinaire traitant quelques jours avant l'inclusion au Catalyst One™. Le sang a été collecté au cours des visites 1, 3 et 4 dans un tube hépariné. L'albuminémie est un paramètre parfois manquant pour quelques animaux en début d'étude car le laboratoire ne le dosait pas systématiquement.

Les valeurs usuelles des paramètres biochimiques et de l'ionogramme chez le chien sont rappelées dans le tableau XV suivant.

Tableau XV : Valeurs usuelles des paramètres biochimiques et de l'ionogramme sanguin chez le chien

	Valeurs usuelles
Urée (g/L)	0,2-0,6
Créatinine (creat) (mg/L)	0-14
PAL (U/L)	0-200
ALAT (U/L)	0-80
Protéines totales (PT) (g/L)	60-80
Albumine (alb) (g/L)	27-40
Glucose (glu) (g/L)	0,6-1,1

Cholestérol (chol) (g/L)	0,8-1,8
Phosphates (P) (mg/L)	25-60
Chlore (Cl) (mmol/L)	105-115
Potassium (K) (mmol/L)	3,8-5,2
Sodium (Na) (mmol/L)	145-160

Les résultats obtenus au cours des différentes visites de l'étude sont rassemblés dans le tableau XVI suivant.

Tableau XVI : Données des analyses biochimiques et des ionogrammes sanguins des animaux inclus

	Chien 01-01			Chien 01-02			Chien 01-03	
	V1	V3	V4	V1	V3	V4	V1	V4
Urée (g/L)	0,5	0,7	0,7	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Creat (mg/L)	15	12	13	4,7	8	7	10	8
PAL (U/L)	457	438	379	56	128	111	147	157
ALAT (U/L)	208	190	199	46	30	26	49	73
PT (g/L)	74	74	78	69	69	69	78	78
Alb (g/L)			34		34	36	33	33
Glucose (g/L)	1,2	1,1	1,1	1	1	1	1,1	1,1
Chol (g/L)	2,6	2,8	2,4	1,9	2,7	2,2	1,8	2,4
P (mg/L)	23	31	37	41	35	35	28	33
Cl (mmol/L)	112	113	112	110	113	113	119	114
K (mmol/L)	4,1	4,1	4,3	4,6	4,4	4,6	3,3	4
Na (mmol/L)	150	153	152	155	149	150	153	150

	Chien 01-04			Chien 01-05			Chien 01-06		
	V1	V3	V4	V1	V3	V4	V1	V3	V4
Urée (g/L)	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
Creat (mg/L)	11	10	9	11	11	10	10	9	9
PAL (U/L)	83	103	73	66	86	79	778	424	470
ALAT (U/L)	44	50	57	60	49	66	231	88	211
PT (g/L)	66	67	66	68	60	51	63	60	65
Alb (g/L)	31	30	31	36	30	28	33	30	32
Glu (g/L)	1	1	1	0,9	1,2	1	0,9	1	0,9
Chol (g/L)	3,8	4,8	4,1	1,5	1	0,4	1,6	1,7	1,9
P (mg/L)	29	29	26	34	35	27	37	37	39
Cl (mmol/L)	116	111	114	116	113	112	109	111	111
K (mmol/L)	4,3	4,4	4	4	4,1	4,1	4,6	5,2	4,7
Na (mmol/L)	147	150	148	152	148	144	145	146	150

Les paramètres rénaux, l'urémie et la créatininémie sont dans les normes pour tous les chiens sauf le 01-01. En effet, la créatininémie à la visite 1 est légèrement supérieure mais revient dans les normes

physiologiques chez le chien aux visites suivantes. Les valeurs de l'urémie sont, à l'inverse, dans les normes à la première visite mais légèrement supérieures aux contrôles après mise en place du traitement.

Les enzymes hépatiques, phosphatases alcalines (PAL) et les alanines aminotransférases (ALAT), sont fortement augmentées par rapport aux normes usuelles pour les chiens 01-01 et 01-06 dès l'entrée dans l'étude. C'est une découverte fortuite, les animaux ne présentaient pas de symptômes. Au cours de la prise du traitement, les valeurs de ces paramètres diminuent tout en restant toujours supérieures à la norme. En effet, les phosphatases alcalines du chien 01-01 ont baissé de 17% et celles du chien 01-06 d'environ 40% tandis que les alanines aminotransférases diminuent respectivement de 4% et de 9%.

Les protéines totales ainsi que l'albuminémie sont restées dans les normes au cours de l'étude. La glycémie est discrètement augmentée pour les chiens 01-01 et 01-05 lors d'une de leurs visites, mais est dans les normes pour les autres et lors de la visite de fin d'étude pour tous les chiens.

La cholestérolémie est globalement supérieure aux valeurs usuelles à la fin du traitement pour cinq animaux, soit 83% des chiens. Pour deux d'entre eux, ce paramètre est augmenté dès l'entrée dans l'étude et reste élevé à chaque visite. En moyenne sur les trois visites, la cholestérolémie est 44% supérieure à la norme haute de 1,8 g/L pour le chien 01-01 et 133% supérieure pour le chien 01-04.

Concernant l'ionogramme, la natrémie, la chlorémie et la phosphorémie sont situées dans les valeurs usuelles chez les six animaux, à part une donnée de la phosphorémie chez le chien 01-00 qui est discrètement diminuée à la visite d'inclusion. La kaliémie est normale, exceptée à la visite d'inclusion du chien 01-03 où elle est nettement diminuée chez le chien 01-03, mais elle se normalise à la fin du traitement.

2. Analyses urinaires

L'urine a été collectée soit par miction spontanée (MS) dans un pot stérile, ou alors par cystocentèse (C) réalisée au service d'imagerie de l'école pour le chien 01-01.

Les valeurs usuelles des paramètres mesurés à la bandelette urinaire et de la densité urinaire au réfractomètre sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

Tableau XVII : Valeurs usuelles des paramètres urinaires chez le chien

	Valeurs usuelles
Densité Urinaire (DU)	> 1,030
pH	5,5 - 7,5
Leucocytes	0
Protéines	selon DU
Glucose	0
Cétones	0
Bilirubine	0
Sang / hémoglobine (Hb)	0 / 0

Les résultats des analyses urinaires obtenus au cours des différentes visites de l'étude sont rassemblés dans le tableau XVIII suivant.

*Tableau XVIII : Données des analyses urinaires des animaux inclus
C : Cystocentèse, MS : Miction Spontanée*

	Chien 01-01			Chien 01-02			Chien 01-03	
	V1	V3	V4	V1	V3	V4	V1	V4
DU	1,014	1,022	1,024	1,02	1,019	1,024	1,028	1,026
pH	5	5	5	6	5	6	8	7
Leucocytes	0	0	0	0	0	0	0	0
Protéines	1+	2+	3+	1+	1+	0	1+	1+
Glucose	0	0	0	0	0	1+	0	0
Cétones	0	0	0	0	0	1+	0	0
Bilirubine	0	0	0	0	0	0	0	0
Sang / Hb	0	0	0/+++	0	0	0/ 1+	0	0/ 1+
Prélèvement	C	C	C	MS	MS	MS	MS	MS

	Chien 01-04			Chien 01-05			Chien 01-06		
	V1	V3	V4	V1	V3	V4	V1	V3	V4
DU	1,006	1,018	1,02	1,03	1,041	1,045	1,035	1,032	>1,050
pH	7	6	7	6	5	7	5	7	5
Leucocytes	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protéines	0	1+	1+	1+	0	1+	0	0	1+
Glucose	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cétones	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilirubine	0	3+	0	0	0	0	0	0	0
Sang / Hb	0	3+	0	0	0	0	0	0	0
Prélèvement	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS

Les urines des chiens recrutés sont toutes hypersthénuriques, hormis celles du chien 01-04, hyposthénuriques à la visite d'inclusion. Bien que les visites aient été programmées en début d'après-midi (sauf pour la dernière visite du chien 01-04 en début de matinée), le pH urinaire est variable d'une visite à l'autre pour tous les chiens sauf le 01-01. Cependant, le pH tend à se stabiliser entre la visite d'inclusion et après trois mois de traitement excepté pour le chien 01-05 qui présente un pH légèrement plus élevé à la fin du traitement.

Les leucocytes sont négatifs lors de chacune des visites. La protéinurie est dans les normes pour la majorité des chiens. En effet, un résultat positif à une croix est compatible avec les urines hypersthénuriques. Cependant, le chien 01-01 présente une protéinurie marquée après trois mois de traitement. Un ratio protéine urinaire sur créatinine urinaire pour évaluer quantitativement la protéinurie couplée à une échographie rénale sont préconisés afin d'investiguer l'affection rénale.

Lors de la dernière visite, une glycosurie et une cétonurie sont remarquées chez le chien 01-02. Elle est apparue après l'épisode de cystite bactérienne et n'est pas associée à une hyperglycémie. Un contrôle après arrêt du traitement et une investigation de recherche causale sont recommandés.

Enfin, le chien 01-04 présente une bilirubinurie et une hématurie marquées à la visite de contrôle après un mois de traitement. Ces deux paramètres sont toutefois dans les normes lors de la visite de fin d'étude.

3. Analyses des biomarqueurs

Les échantillons de sang ont été prélevés simultanément à ceux destinés à l'analyse biochimique lors des visites 1, 3 et 4. Le sang a ensuite été placé dans un tube sec individuel puis centrifugé à 3000 tours par minute pendant 10 minutes au laboratoire central de l'école. Le sérum recueilli a ensuite été congelé et stocké au laboratoire. À la fin de l'étude, un envoi groupé des différents sérums a été réalisé par un transporteur agréé. Les sérums de chaque visite sont placés dans des tubes secs Eppendorf annoté ainsi : « 21 NEH 04 VX - DX Dog n° 01-XX », avec X correspondant au chiffre de la visite et à celui de l'identification du chien. Les échantillons sont envoyés dans de la glace pour ensuite être analysés par le laboratoire CerbaXpert.

Les résultats des deux biomarqueurs sériques sont présentés ci-après.

a) Protéine C-réactive (CRP)

Tableau XIX : Résultats des dosages des CRP au cours de l'étude

CRP (mg/L)	V1	V3	V4
01-01	< 5	< 5	< 5
01-02	< 5	< 5	< 5
01-03	< 5		23,2
01-04	< 5	< 5	< 5
01-05	< 5	< 5	< 5
01-06	< 5	< 5	< 5

Le taux de CRP est, pour cinq des six chiens inclus, inférieur à 5 mg/L. Cependant le chien 01-03 présente une augmentation du biomarqueur à la visite de fin d'étude soit après les 3 mois de traitement. Cette valeur significative pour le laboratoire l'ayant dosée reste néanmoins dans les normes usuelles chez le chien, c'est-à-dire inférieure à 30 mg/L de sérum.

b) Carboxy-Terminal Collagen Crosslinks de type 1 (CTX1)

Tableau XX : Résultats du dosage des CTX1 au cours de l'étude

Identité	CTX (ng/mL)			Evolution entre V1 et V4 (%)
	V1	V3	V4	
01-01	0,552	0,517	0,744	34,8
01-02	0,345	0,367	0,415	20,3
01-03	0,488		0,425	-12,9
01-04	0,295	0,224	0,185	-37,3
01-05	0,36	0,212	0,53	47,2
01-06	0,627	0,589	0,348	-44,5
Moyenne par visite	0,445	0,382	0,441	7,6

Les taux de CTX1 sont tous situés dans les normes établies par le laboratoire, à savoir entre 0,071 et 2,5 ng/mL. L'évolution entre le début et la fin de l'étude est exprimée en pourcentage. La moitié des chiens présentent une augmentation sériq ue du taux de CTX1 après le traitement, et l'autre moitié une diminution. Cependant, la moyenne des CTX de tous les animaux évolue peu au cours des visites et une légère augmentation de 7,6 % entre la visite d'inclusion et la dernière visite est notée.

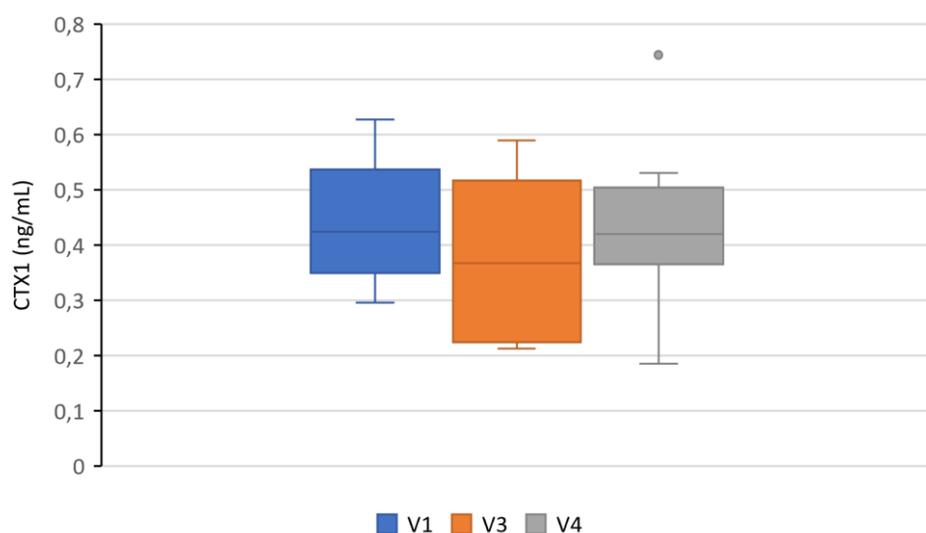


Figure 48: Diagramme en boîte de la répartition des taux de CTX1 selon les visites

F. Résultats fonctionnels

1. Analyse cinétique de la démarche à l'aide du tapis Walkway de Tekscan™ corrélée à l'examen orthopédique

Dans le cadre de l'étude, nous nous sommes focalisés sur les quatre paramètres de membres pour analyser objectivement la démarche des chiens avant et au cours de la prise du nutriment : l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact et la distribution du poids corporel. Ils sont définis dans la première partie dans le paragraphe portant sur le système Walkway. Pour chacune des variables, des graphiques ont été établis en prenant la moyenne des données des cinq runs valides pour chacune des visites. Sur l'axe des abscisses, PrOP (visite préopératoire) correspond à la visite d'inclusion (V1) et DPO 0 pour Day Post-Operative 0 (jour post-opératoire 0) à V2 où l'animal débute le traitement à évaluer.

a) Chien 01-01 : Tisca

➤ Examens orthopédiques

Le premier chien présente de l'arthrose depuis deux ans et reçoit ponctuellement des traitements anti-inflammatoires lors de crises aiguës. La démarche de Tisca est amble, autrement dit le chien lève les deux membres du même côté simultanément au pas.

Les examens cliniques des deux premières visites sont identiques. Ils révèlent une amyotrophie et une raideur des deux postérieurs. La boiterie est de grade 1 sur 5 avec un report d'appui sur les membres situés à droite. Lors des visites V3 et V4, notées respectivement DPO 28 et DPO 91 soit 28 jours et 91 jours après le début du traitement, l'examen orthopédique est relativement similaire à celui des deux premières visites. La boiterie est également de grade 1 et l'animal prend toujours appui sur ses membres droits.

Les propriétaires ne remarquent pas d'amélioration de la boiterie au cours de l'étude après trois mois de traitement. Un épisode de paralysie aiguë des postérieurs est rapporté après deux mois de traitement mais n'est pas noté au dernier examen orthopédique.

➤ Description des données du Walkway (Tekscan™)

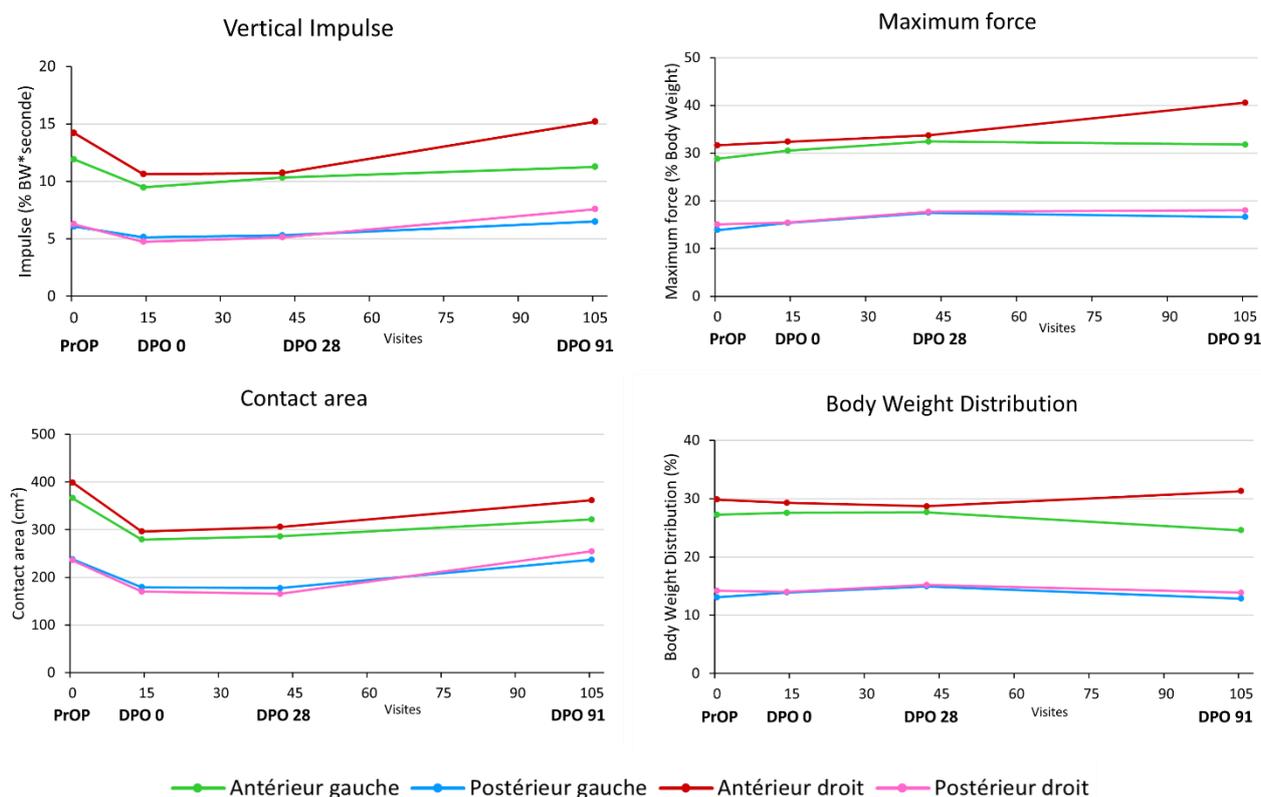


Figure 49 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-01 au cours de l'étude

Les quatre graphiques représentent respectivement l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact ainsi que la distribution du poids corporel de chaque membre en fonction des visites.

Sur les quatre graphiques, les membres thoraciques (ou antérieurs), représentés en rouge et en vert, sont situés au-dessus des membres pelviens (ou postérieurs) tracés en bleu et en rose. L'impulsion des antérieurs est supérieur à celui des postérieurs tout au long de l'étude. Ce résultat témoigne d'une répartition normale du chien sur ses membres, à savoir environ 60% sur les antérieurs et 40% sur les postérieurs [134]. L'allure de l'impulsion verticale suit la même tendance pour les quatre membres. Après une diminution entre la visite d'inclusion et le premier jour du traitement en moyenne de 27% pour les quatre membres, l'impulsion augmente au fur et à mesure de la prise du traitement. C'est notamment le cas pour les membres thoracique et pelvien droits avec une augmentation respective de 43% et de 60% entre le début et la fin du traitement. Le chien prend davantage appui sur cette patte et exerce une force plus importante au cours de la marche à la fin du traitement. La surface de contact tend à augmenter de 15% pour le membre thoracique gauche à près de 50% pour le membre pelvien droit ce qui peut être relié à la vitesse de foulée qui diminue : plus le chien avance vite, moins il pose sa patte au sol. La répartition du poids du corps est globalement constante, excepté lors de la dernière visite où le poids du chien est davantage distribué sur le membre thoracique droit avec une augmentation de 7% entre le début et la fin du traitement. La force maximale présente de faibles

variations pour les membres gauches (moins de 10% d'augmentation) mais une augmentation de près de 25% pour le membre thoracique droit et de 17% pour le membre pelvien droit suite au traitement. De plus, nous pouvons noter que la démarche amble ne semble pas modifier l'allure des graphiques.

b) Chien 01-02 : Gigi

➤ Examens orthopédiques

Le second chien a été adopté dans une association un an auparavant, son passé est donc méconnu. Il présente de l'arthrose depuis plus d'un an qui se manifeste par une boiterie intermittente de grade 1 du membre thoracique droit remarquée en particulier après l'effort. Une raideur des postérieurs est parfois notée par les propriétaires. Les examens orthopédiques des visites V1, V2, V3 et V4 nommées respectivement PrOP, DPO 0, DPO 26 et DPO 110, révèlent une amyotrophie légère du muscle supra-épineux droit associé à une tendinite bicipitale chronique à droite, mais sans anomalie au niveau du coude. La boiterie est intermittente, non douloureuse et localisée à l'épaule du membre thoracique droit. Elle a légèrement diminué lors de la dernière visite. À cela s'ajoute une raideur des membres pelviens est notée à DPO 110. À la dernière visite, on note une diminution des douleurs lors du lever ou d'un exercice important.

➤ Description des données du Walkway (Tekscan™)

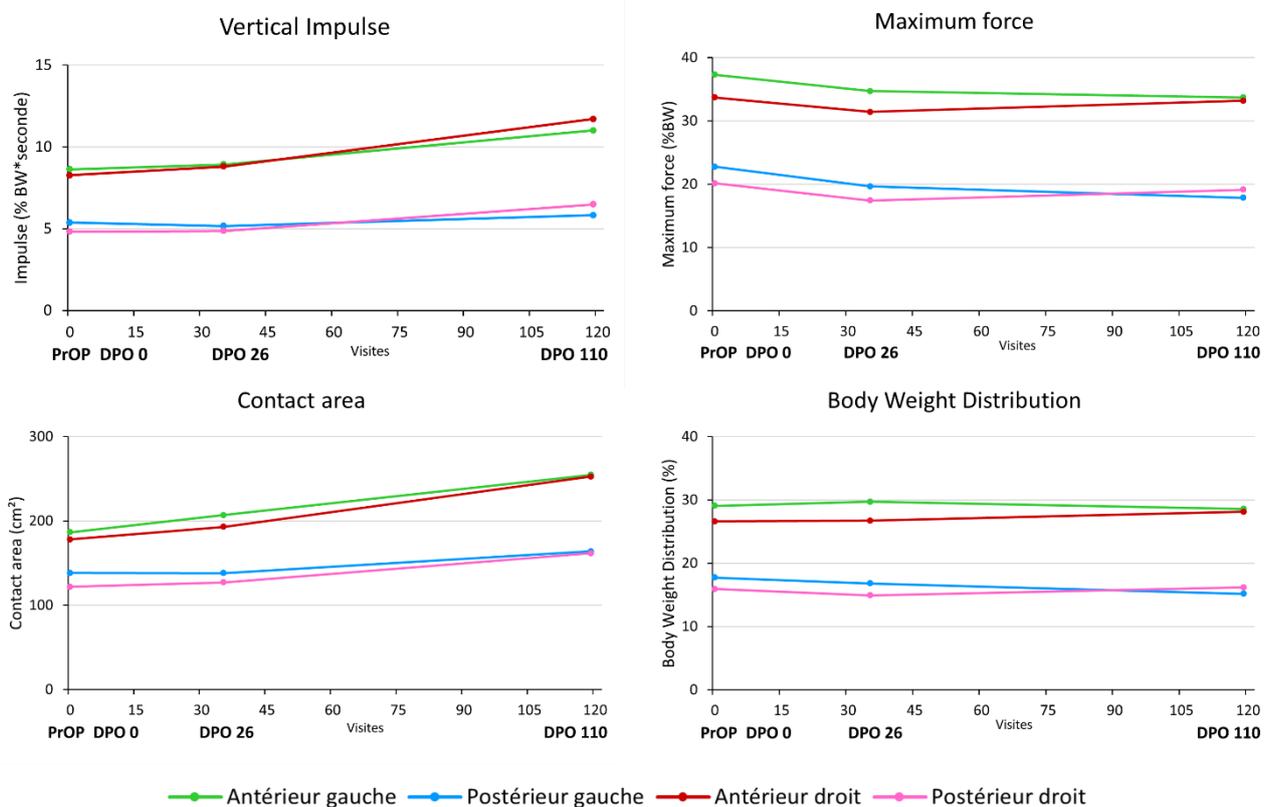


Figure 50 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-02 au cours de l'étude

Après analyse des données, nous avons décidé de retirer les valeurs de la visite 2 (DPO 0). En effet, ces dernières étaient, pour tous les paramètres mesurés, très inférieures aux données de la visite 1 réalisée seulement 9 jours auparavant. C'est la raison pour laquelle les points sont reliés entre la visite PrOP (V1) et DPO 26 (V3).

Les quatre graphiques représentent respectivement l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact ainsi que la distribution du poids corporel de chaque membre en fonction des visites.

Pour les quatre paramètres retenus, les valeurs des membres thoraciques sont toujours environ 1,5 fois supérieures à celle des membres pelviens. Ce résultat témoigne d'une répartition normale du chien sur ses membres, à savoir environ 60% sur les antérieurs et 40% sur les postérieurs [134]. De plus, les quatre membres suivent approximativement la même tendance pour chaque paramètre. Entre le recrutement et la prise du nutriment, les valeurs des paramètres des membres sont globalement constantes. Celles de la force maximale diminuent légèrement d'environ 10% en moyenne entre V1 et V3.

Au cours de l'étude et plus particulièrement après les trois mois de traitement, on note une augmentation du tonus des quatre membres, c'est-à-dire de l'impulsion. Elle est plus marquée sur les membres droits et sur les antérieurs avec 42% d'augmentation entre V1 et V4 pour le membre thoracique droit, 28% pour le membre thoracique gauche, et 34% d'augmentation sur le membre pelvien droit sur la même période. En parallèle, la surface de contact de chaque patte sur le sol croît notamment à la fin du traitement sur les antérieurs avec 42% et 36% d'augmentation pour les membres thoraciques droit et gauche. Ces valeurs peuvent être corrélées à la vitesse de marche sur le tapis qui a diminué au cours de la dernière visite.

Pour les deux paramètres qui augmentent avec la prise du traitement, à savoir l'impulsion verticale et la surface de contact, le postérieur gauche est le membre présentant le moins de variation.

La distribution du poids du corps sur les membres reste constante au cours de l'étude.

c) Chien 01-03 : Loulou

➤ Examens orthopédiques

A l'examen d'entrée, le troisième chien présentait de l'arthrose sévère depuis cinq ans, se manifestant par une boiterie intermittente du membre thoracique gauche. Des radiographies réalisées au début de la maladie ont révélé des lésions principalement en regard des vertèbres lombaires 6 et 7. L'arthrose est prise en charge médicalement sans succès depuis deux années par traitements anti-inflammatoires, des antalgiques ou des anticorps monoclonaux. Les examens orthopédiques à distance de chacune des visites V1, V2, et V4 (respectivement PrOP, DPO 0 et DPO 79) font état d'un valgus du membre thoracique gauche et d'un dos voussé ainsi qu'un polygone de sustentation élargi au niveau des postérieurs et diminué au niveau des antérieurs. A la marche, le chien présente une boiterie de grade 2 des membres thoracique et pelvien gauches sans différence à froid ou à chaud ni mouvements anormaux. L'examen rapproché souligne une douleur en région lombo-sacrée à la palpation lors des trois visites ainsi que des douleurs à l'extension des hanches, à l'abduction de la hanche droite et à l'extension des coudes. Le test de Campbell est positif à droite, spécifique de la douleur associée à

une dysplasie du coude. Lors de la visite V4 (DPO 79), le propriétaire rapporte une dégradation de l'état de son chien qui présente davantage de douleurs, ayant pour conséquence une diminution du temps de promenade. L'examen orthopédique est similaire aux examens antérieurs excepté la douleur à l'extension des coudes qui est plus marquée à gauche.

➤ Description des données du Walkway (Tekscan™)

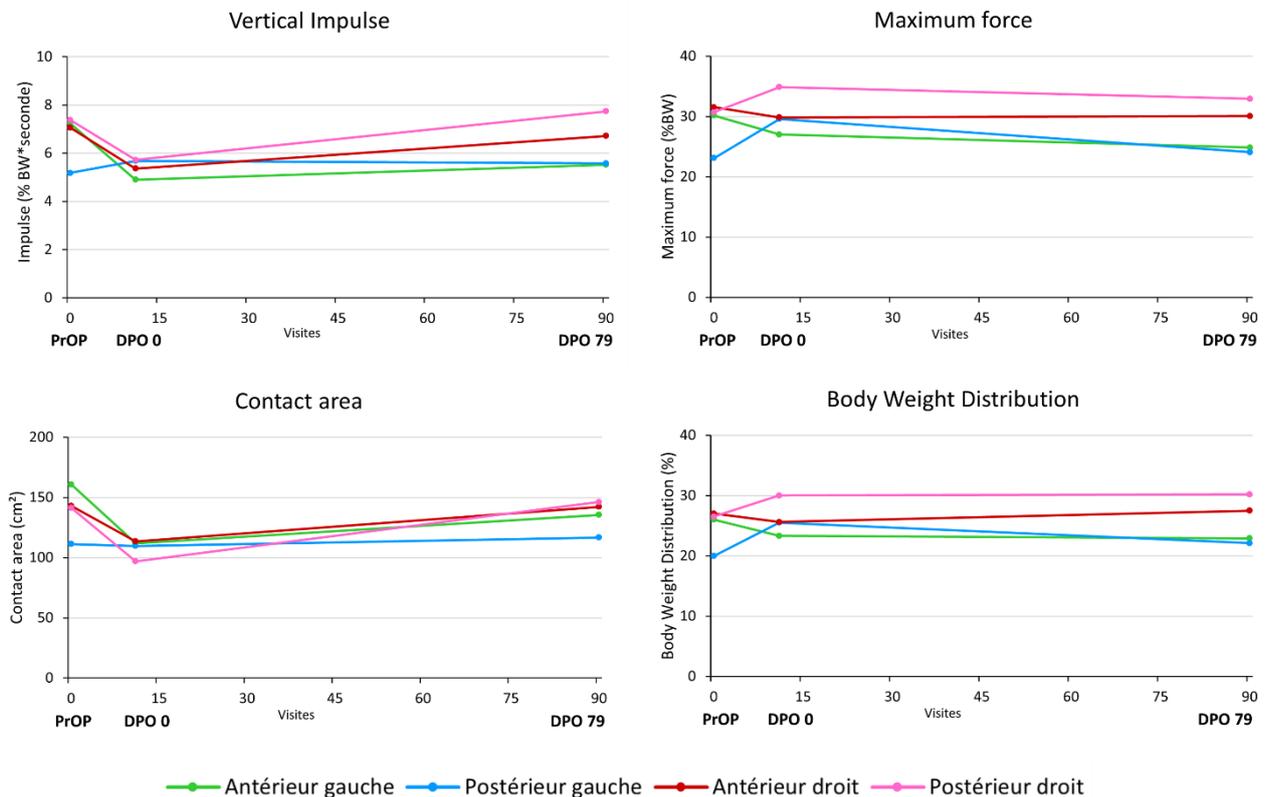


Figure 51 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-03 au cours de l'étude

Les quatre graphiques représentent respectivement l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact ainsi que la distribution du poids corporel de chaque membre en fonction des visites.

L'allure des quatre membres sur les graphiques des différents paramètres présente des particularités. En effet, la répartition des appuis classique des chiens (60% des appuis sur les antérieurs et 40% sur les postérieurs d'après [134] n'est pas retrouvée ici puisque les valeurs de chacun des membres sont relativement proches et aucune distinction entre les membres pelviens et thoraciques n'est visualisée sur les tracés. La répartition, en prenant en compte les valeurs de la distribution corporelle de la dernière visite par exemple, est de 49% pour les antérieurs contre 51% pour les postérieurs. Le chien s'appuie davantage sur ses membres droits (en rouge et rose) avec des valeurs légèrement supérieures à celles des membres gauches. En effet, en prenant les valeurs de la visite 4 concernant la distribution corporelle, les appuis sur les membres droits représentent 56% du poids du corps contre 44% pour les appuis à gauche. A la deuxième visite c'est-à-dire au début du traitement, les valeurs de tous les

membres sauf le postérieur gauche diminuent de 22 à 32% pour les paramètres d'impulsion. C'est également le cas pour la surface de contact avec les mêmes pourcentages de diminution.

Entre le début et la fin du traitement, l'impulsion verticale augmente pour les membres droits thoracique et pelvien respectivement de 25 et 35%, tandis qu'aucune variation de tonus n'est visible sur le membre pelvien gauche et une légère augmentation de 13% sur le membre thoracique gauche. La surface de contact des membres droits et du membre thoracique gauche augmente entre le début et la fin du traitement de 21% pour le membre thoracique gauche à 51% pour le membre pelvien droit, concordant avec une diminution de la vitesse pour les quatre membres. Aucune variation n'est notée au cours de l'étude pour les paramètres de la force maximale et de la distribution du poids sur les quatre pattes.

d) *Chien 01-04 : Infiniti*

➤ Examens orthopédiques

Le quatrième chien présente de l'arthrose légère se manifestant par des raideurs lors du lever et du coucher depuis quelques mois mais n'a jamais reçu de traitement pour l'arthrose. Une boiterie légère, intermittente de grade 1 est notée sur le membre postérieur droit sans douleur associée. Le chien présente par ailleurs, dès la première visite V1 (ou PrOP), une amyotrophie légère des postérieurs. Lors de la visite V3 (ou DPO 28) après un mois de traitement, des craquements sont remarqués à la manipulation du grasset droit. Ils sont toujours présents et amplifiés lors de la visite V4 (DPO 93). À la visite de fin d'étude V4, le chien présente également une boiterie à froid du membre thoracique droit et davantage d'arthrose dans les grassets.

Les propriétaires notent une amélioration de son état après un mois de traitement, le chien présente plus de facilités pour se lever et moins de raideurs au coucher. Cependant, l'examen orthopédique de la visite V4 montre une aggravation de la boiterie du membre pelvien droit, devenue permanente et plus franche, mais toujours non associée à de la douleur.

➤ Description des données du Walkway (Tekscan™)

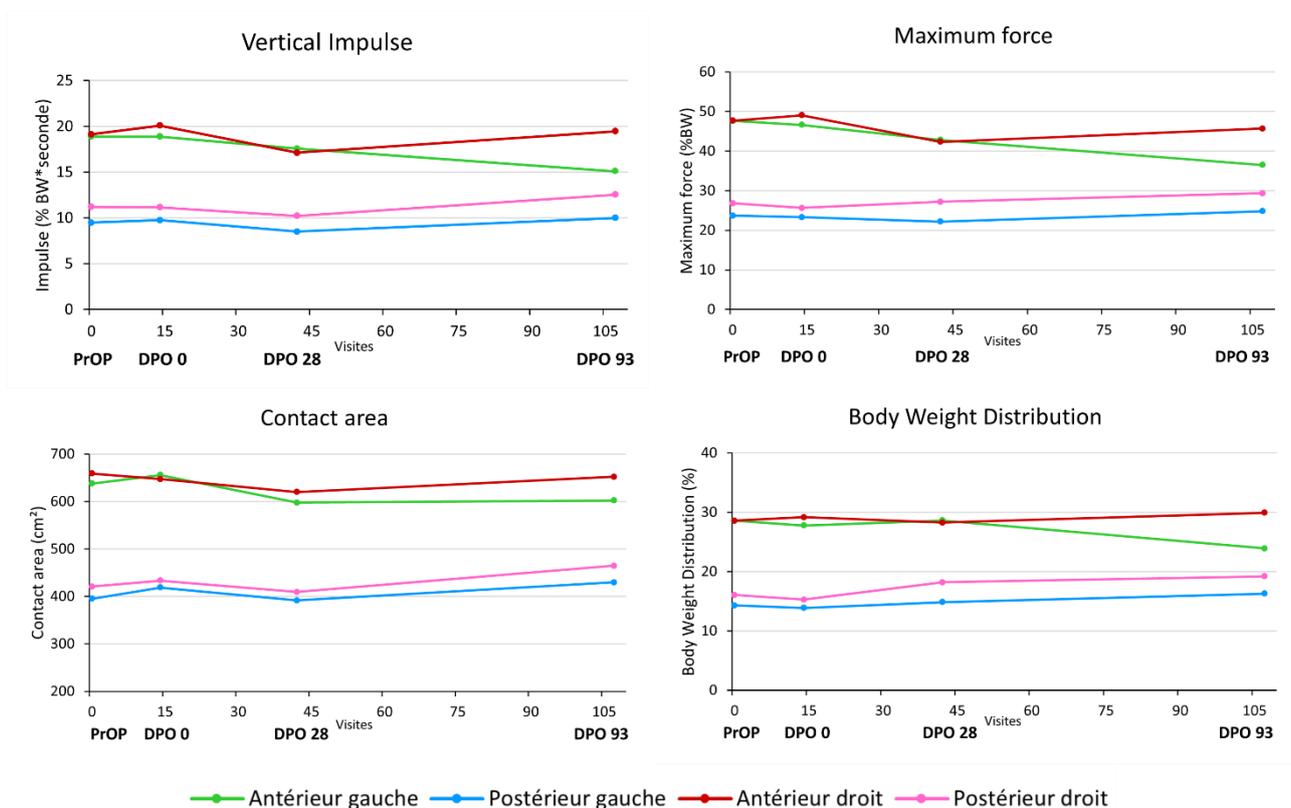


Figure 52: Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-04 au cours de l'étude

Les quatre graphiques représentent respectivement l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact ainsi que la distribution du poids corporel de chaque membre en fonction des visites.

Les graphiques montrent une répartition des appuis correcte avec une supériorité des valeurs des membres antérieurs de 1,5 fois environ celles des postérieurs [134]. Aucune différence entre les visites préopératoire et DPO 0 (V1 et V2) pour les quatre paramètres n'est observée. Les tracés des membres postérieurs suivent la même allure pour les quatre membres, avec une légère supériorité du membre pelvien droit.

La surface de contact ainsi que la vitesse de chaque membre restent stables au cours des différentes visites. L'impulsion verticale, la force maximale et la distribution du poids sur le membre thoracique gauche diminuent après trois mois de traitement respectivement de 20%, 22% et de 14%. A contrario, les valeurs de ces trois paramètres restent environ constantes pour le membre thoracique droit.

e) Chien 01-05 : Queni

➤ Examens orthopédiques

Le cinquième chien présente de l'arthrose légère depuis quelques mois, se manifestant par une boiterie de grade 2 du membre pelvien droit. Il n'a jamais reçu de traitement pour cette affection. Lors des deux premières visites V1 et V2 (PrOP et DPO 0), l'arthrose est caractérisée par une décharge modérée lors de la marche du membre pelvien droit, avec une légère douleur associée. De plus, des craquements à la mobilisation du grasset droit sont constatés. Une amyotrophie des deux postérieurs, plus marquée à droite, est également notée. À la visite V3 (DPO 28) après un mois de traitement, la boiterie est de grade 1 sur le membre pelvien droit avec toujours de la douleur associée. L'appui du membre postérieur gauche est inférieur à celui de droite. La chienne ne présente plus d'amyotrophie. Enfin à la visite de fin d'étude V4 (DPO 93), le chien présente toujours une légère boiterie de grade 1 mais sans douleur ni amyotrophie associées, comparé à la visite préopératoire.

➤ Description des données du Walkway (Tekscan™)

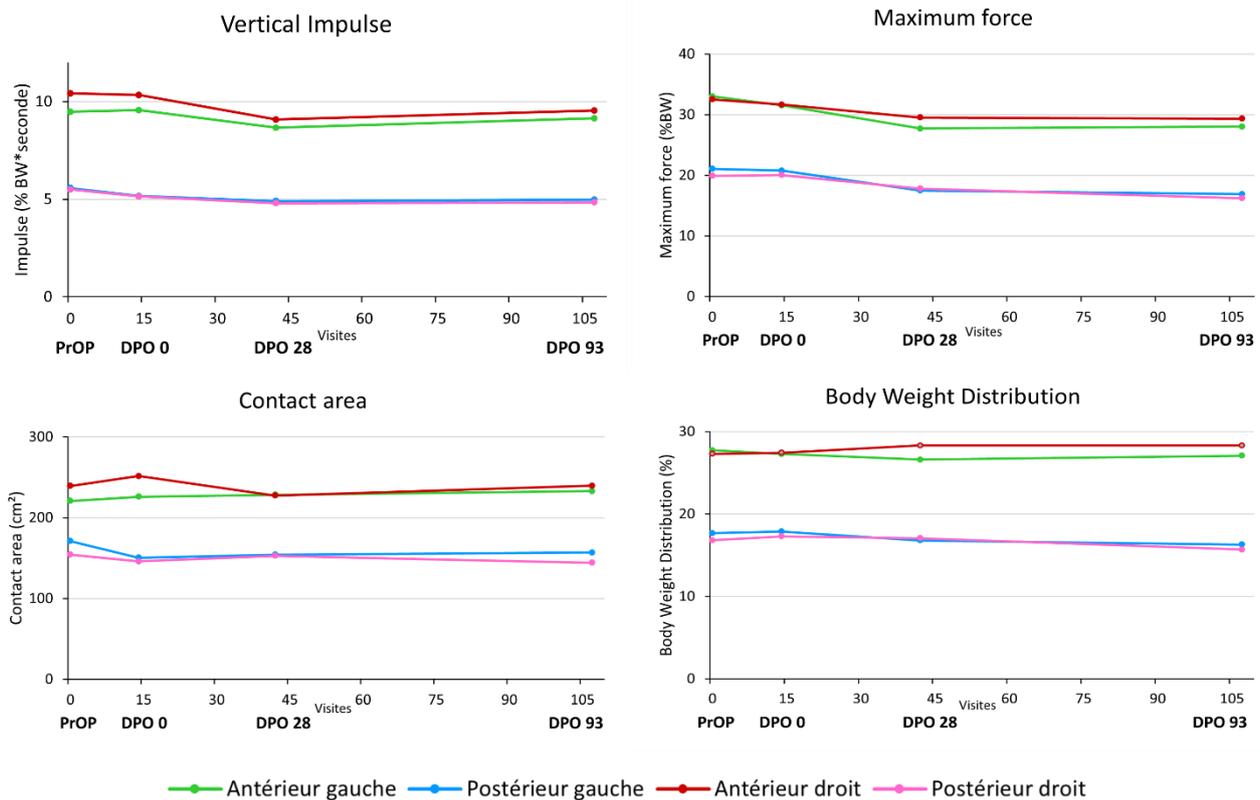


Figure 53 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-05 au cours de l'étude

Les quatre graphiques représentent respectivement l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact ainsi que la distribution du poids corporel de chaque membre en fonction des visites.

Le chien présente une bonne répartition de ses appuis antérieurs et postérieurs avec une supériorité des valeurs des membres antérieurs de 1,5 fois environ celles des postérieurs [134]. Pour les quatre paramètres retenus, les courbes respectives sont presque alignées, témoignant une évolution sensiblement identique pour les membres thoraciques et pelviens. La distribution du poids corporel du chien sur ses pattes tout au long de l'étude est idéale malgré une perte d'environ 5% de son poids entre la première et la dernière visite. Après trois mois de traitement, aucune amélioration n'est observée pour l'impulsion verticale et la surface de contact. La force maximale exercée par les membres sur le tapis diminue légèrement de moins de 20% pour tous les membres entre V2 et V4.

f) Chien 01-06 : Icar

➤ Examens orthopédiques

Depuis 2 ans, Icar présente ponctuellement dans l'année des douleurs et des raideurs lors de jeux. Il a tendance à gémir à l'occasion de sauts. C'est pourquoi il a déjà reçu des compléments alimentaires pendant les crises.

Le chien présente dès la première visite V1 (PrOP) une amyotrophie bilatérale des grassets et une boiterie intermittente plus marquée à droite. Il manifeste de la douleur à l'extension des hanches plus particulièrement sur celle de gauche. Lors de la visite de contrôle après un mois de traitement (V3 ou DPO 28), une gêne à la palpation des lombaires entre L4 et L5 est remarquée mais non associée à un traumatisme récent. La douleur engendrée par la mobilisation des articulations est diminuée par rapport aux deux premières visites V1 et V2. Cependant l'examen orthopédique de la dernière visite V4 (DPO 93) révèle une douleur légère à la flexion des hanches bilatéralement.

➤ Description des données du Walkway (Tekscan™)

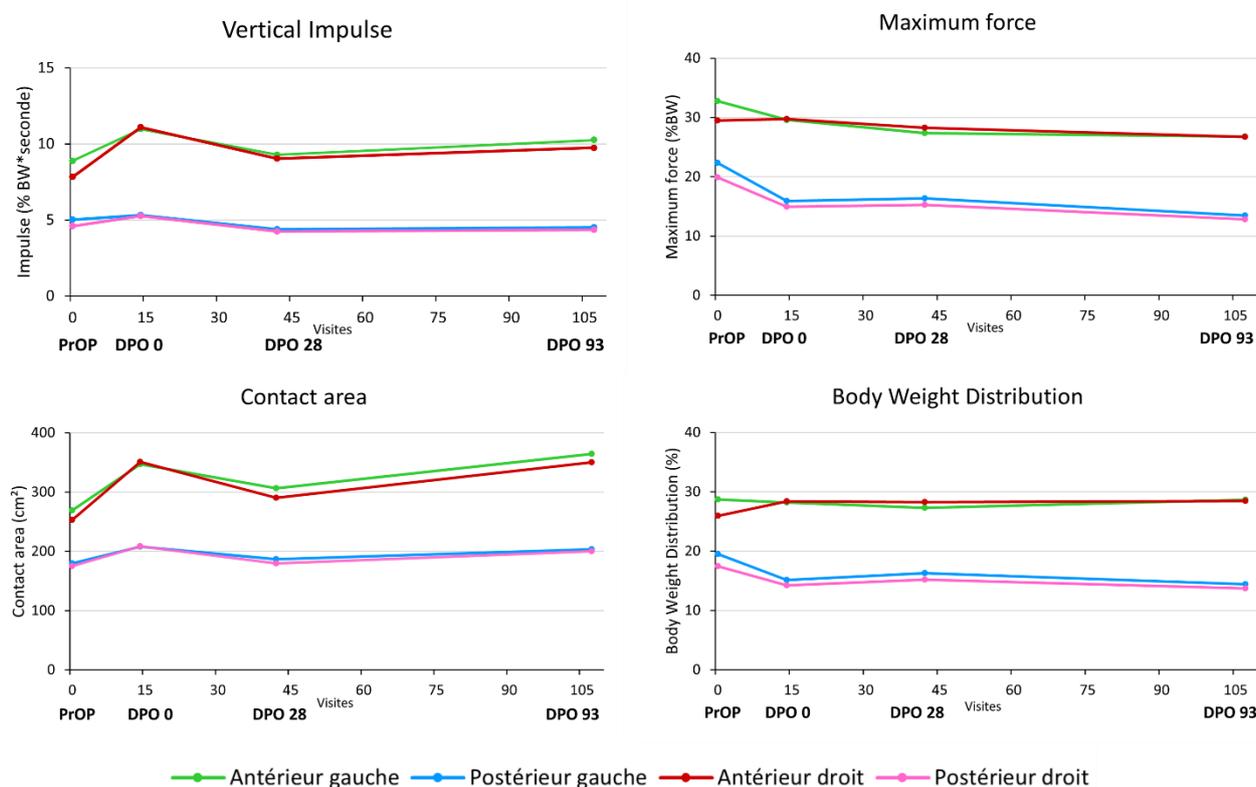


Figure 54 : Graphiques de l'évolution des quatre paramètres d'analyse de la marche chez le chien 01-06 au cours de l'étude

Les quatre graphiques représentent respectivement l'impulsion verticale, la force maximale, la surface de contact ainsi que la distribution du poids corporel de chaque membre en fonction des visites.

Les tracés des membres antérieurs sont distincts de ceux des postérieurs avec des valeurs environ 1,5 fois plus élevées pour les antérieurs, signifiant une répartition des appuis correcte [134]. Les courbes pour les quatre paramètres retenus sont donc alignées pendant toute la durée du traitement, de DPO 0 à DPO 93. Excepté pendant la période avant la prise du traitement, la distribution du poids corporel de ce chien est presque idéale sachant que le chien a perdu environ 5% de son poids entre la première et la dernière visite.

Une diminution d'environ 20% de l'impulsion verticale au cours du premier mois de la prise du traitement est observée pour les quatre membres. Après les trois mois de traitement, la diminution des valeurs de l'impulsion verticale est moins prononcée en particulier pour les membres antérieurs avec environ 10% de baisse sur cette période. La force maximale diminue progressivement tout au long de l'étude pour atteindre une baisse de 10 à 15% selon les membres. Après une forte augmentation entre V1 et V2 puis une légère diminution au cours du premier mois de traitement, la surface de contact augmente entre V3 et V4. L'augmentation compense la diminution précédente de la surface de contact, ce qui se traduit par des valeurs presque identiques entre le début et la fin du traitement pour tous les membres. D'ailleurs, en s'intéressant à la vitesse des membres lors des passages, nous

remarquons une diminution au cours des différentes visites de la vitesse du chien sur le tapis en particulier entre V1 et V2, ce qui concorde avec l'allure des courbes de la surface de contact.

2. Activité quotidienne

L'activité quotidienne a été mesurée grâce à un collier d'activité placé sur le chien lors de la visite d'inclusion V1 dans l'étude. Une première phase d'une quinzaine de jours a permis d'établir l'activité basale motrice du chien sans traitement, avant la visite V2. La deuxième période analysée est celle pendant laquelle le chien a reçu le traitement, soit entre les visites V2 et V4.

Une moyenne de l'activité quotidienne pour chacune des périodes est rapportée en minutes par type d'exercices dans le tableau ci-dessous. La marche est l'activité principale des six chiens inclus. Les trois types d'exercices ont été additionnés pour évaluer l'activité globale quotidienne. L'évolution de l'activité entre ces deux périodes est également calculée en pourcentage afin de pouvoir les comparer.

Tableau XXI : Moyenne des données de l'activité quotidienne des chiens inclus récoltées par le collier d'activité au cours de l'étude

	Activité (minute)						Total de l'activité quotidienne moyenne (minute)		
	Marche		Course		Jeux		Avant V2	[V2 - V4]	Evolution
	Avant V2	[V2 - V4]	Avant V2	[V2 - V4]	Avant V2	[V2 - V4]			
01-01	30,0	56,1	1,7	0,5	6,7	4,4	38,4	61,0	+ 58,9%
01-02	35,6	49,7	19,4	20,0	12,8	13,9	67,8	83,6	+ 23,3%
01-03	58,3	55,1	3,3	1,5	5,0	6,2	66,6	62,8	- 5,7%
01-04	21,5	20,7	0,0	0,0	2,7	1,8	24,2	22,5	- 7,0%
01-05	76,5	86,5	0,0	1,3	7,3	10,9	83,8	98,7	+ 17,8%
01-06	72,9	72,5	17,5	18,4	12,1	12,4	102,5	103,3	+ 0,8%

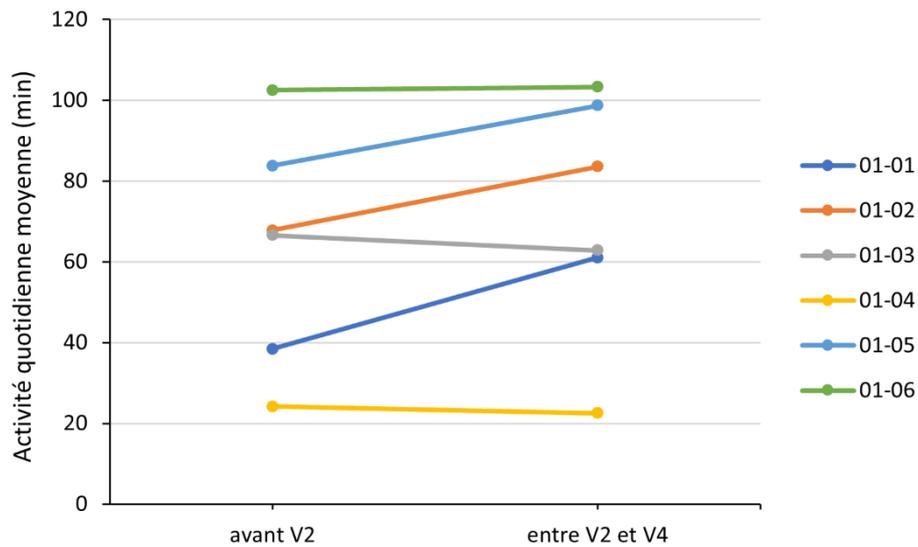


Figure 55 : Évolution de l'activité totale quotidienne avant et après supplémentation

La moyenne de l'activité basale chez les chiens recrutés est de 64 minutes environ, avec plus de 76% de leur temps accordé à la marche. Pour la seconde période, l'activité est légèrement augmentée à 72 minutes par jour en moyenne. Le temps d'activité est variable selon les chiens, avec un minimum de 24 minutes pour le chien 01-04 et un maximum de 102 minutes par jour pour le chien 01-06 avant traitement. Ces deux animaux présentent également respectivement les valeurs minimales et maximales d'activité au cours de la supplémentation.

L'évolution entre ces deux périodes diffère cependant pour chaque individu. Le chien 01-06 ne présente aucun gain d'activité quotidienne. Certains chiens comme le 01-03 ou le 01-04 ont montré une légère diminution de leur temps d'activité quotidienne entre 5,7% et 7% au cours du traitement. Toutefois, les trois derniers chiens ont montré une augmentation située entre 17 et 59% de gain après la prise de la farine.

V. Discussion

Les principaux objectifs de l'étude étaient d'évaluer la tolérance et l'efficacité du nutriment à base de farine d'insectes sur l'activité chez une population de chiens âgés arthrosiques.

A. Chiens recrutés

Une population hétérogène de sept chiens de gabarit moyen à lourd a été recrutée. Cependant un chien a dû être écarté de l'étude pour cause d'effets indésirables trop importants. Cela a eu pour conséquence une analyse de résultats sur seulement six individus. Les difficultés de recrutement s'expliquent par la structure de l'école avec des services compartimentés mais également un manque de communication au sein du CHUV. De plus, les clients sont souvent référés par des confrères et leurs chiens présentent des affections non compatibles avec l'étude. Les animaux avaient pour la majorité de l'arthrose légère à modérée, hormis le chien 01-03 réfractaire à de nombreux traitements.

B. Tolérance et observance du complément alimentaire évalué

La tolérance du produit a été évaluée par le suivi clinique, le suivi chez les propriétaires avec les annotations d'évènements indésirables dans le cahier et le dosage de paramètres sanguins et urinaires. Le complément alimentaire présenté sous forme de farine était généralement administré lors des deux repas de la journée afin d'avoir la meilleure observance possible. En effet, les propriétaires ont rapporté que leurs animaux avaient parfois des problèmes d'appétence avec des difficultés à ingérer la totalité de la farine. La raison principale de ce manque d'appétence est la dose prescrite qui représente une grande quantité de poudre sèche. Les effets indésirables relatés étaient majoritairement des troubles digestifs passagers pour la plupart, sauf le chien retiré de l'étude qui présentait dès le début du traitement une dysorexie marquée. Cela s'explique probablement par l'âge de l'animal. Il est d'ailleurs décédé quelques mois après l'arrêt de l'étude.

Cependant tous les chiens exceptés celui exclu au milieu de l'étude ont présenté une bonne observance du traitement avec de temps en temps un oubli noté sur le cahier de suivi. Les propriétaires se sont bien investis dans l'étude en respectant les doses prescrites et en remplissant régulièrement le cahier de suivi avec les effets indésirables et traitements administrés en parallèle. Ce travail a facilité le suivi des animaux.

Malgré un retrait calculé de l'alimentation quotidienne, certains chiens ont présenté une augmentation de leur poids corporel de plus de 5% entre le début et la fin du traitement. Cette hausse de poids peut s'expliquer par une formulation riche en énergie du complément alimentaire associée à un retrait insuffisant de la portion quotidienne de nourriture mais également par une baisse de l'activité

physique quotidienne chez ces chiens pour qui le traitement n'a pas fonctionné. Au contraire, deux chiens ont perdu légèrement du poids au cours de l'étude (environ 5% par rapport à leur poids à l'inclusion). Cette perte peut être due au fait que leur activité physique a augmenté ou que l'apport de nourriture n'était pas suffisant avec un retrait trop important de la ration. De plus, une connaissance de la composition exacte du produit, notamment en graisses totales permettrait un ajustement de la ration pour un meilleur contrôle des apports caloriques.

L'efficacité du produit a été évaluée par différents moyens : les scores vétérinaires, le questionnaire destiné aux propriétaires, le suivi de l'activité physique par le collier et l'évaluation de la marche sur un tapis à capteurs de pression.

C. Pertinence des scores

Des scores vétérinaires et le questionnaire destiné aux propriétaires ont permis un suivi régulier de l'évolution de la boiterie, du poids et de la douleur lors des visites ou au quotidien. Avec le questionnaire LOAD, quatre propriétaires ont noté une amélioration de la mobilité au quotidien de leur chien après la prise du traitement et un propriétaire a vu l'état de son animal empirer à la fin de l'étude. Il s'agit du chien présentant de l'arthrose sévère et réfractaire aux traitements classiques. Cependant, les scores BCS, VAS et NRS établis par le vétérinaire n'ont pas montré de variations majeures au cours de l'étude.

D. Pertinence des paramètres mesurés

Les analyses biochimiques et urinaires ont été réalisées comme indicateur pour détecter toute insuffisance organique en particulier rénale ou hépatique avec la quantité importante de protéines dans la farine à évaluer. Le chien 01-01 a présenté une discrète augmentation des paramètres rénaux et urinaires et une augmentation stable des paramètres hépatiques tout au long de l'étude. Les protéines urinaires marquées après trois mois de traitement nécessitent une surveillance conseillée après la fin de l'étude afin d'éviter l'apparition d'une insuffisance rénale. Les paramètres hépatiques du chien 01-06 sont restés élevés durant toute l'étude. Cependant, une diminution de leurs valeurs ainsi qu'une surveillance des symptômes du chien au cours du traitement n'ont pas entraîné son retrait de l'étude. La majorité des chiens inclus ont présenté une hypercholestérolémie légère suite à la prise du nutriment. Ceci s'explique par le fait que la composition en graisses de la farine à tester est méconnue. Par conséquent, cet élément n'a pas été pris en compte dans le calcul pour le retrait d'une portion d'aliment.

L'analyse hématologique a seulement été prévue à l'inclusion afin de mettre en évidence toute anomalie contre indiquant l'entrée dans l'étude. Il aurait été judicieux de la réaliser à la dernière visite également pour vérifier l'état de santé général du chien.

Au cours de l'étude, deux biomarqueurs sériques ont été suivis, CRP et CTX1, afin d'évaluer respectivement l'inflammation et la résorption osseuse avant, pendant et après le traitement. Chez tous les chiens inclus, leurs valeurs sont situées dans les normes canines. D'après les études, l'intérêt du dosage de la CRP en cas d'arthrose chez le chien n'a pas été prouvé. En effet, ce paramètre est mesuré en cas de maladies infectieuses comme les bronchopneumonies ou inflammatoires telles que l'arthrite chez les carnivores [124,125,135]. En humaine la CRP est dosée puisqu'elle est associée à la progression de l'arthrose [126]. Le dosage des CTX1 présente un intérêt dans les maladies caractérisées par un remodelage osseux. Peu d'études l'utilisent chez des patients atteints d'arthrose et certaines montrent que ce paramètre ne présente pas de variations comme dans l'étude portant sur les chevaux arthrosiques [133,136].

Nous pouvons par conséquent nous questionner sur l'utilité du dosage de ces deux biomarqueurs dans le cadre de notre étude.

E. Résultats fonctionnels

L'activité motrice quotidienne a été mesurée par un collier connecté. Une période d'activité basale de 15 jours a été définie dans le protocole pour mesurer l'activité moyenne des animaux sans traitement. Pour le chien 01-03, cette période était de 11 jours compte tenu de l'emploi du temps.

Pour la moitié des chiens inclus, la farine a permis une augmentation de l'activité quotidienne de 33% en moyenne. Le chien 01-06 a présenté une stagnation du temps d'activité quotidienne alors que le score LOAD durant toute la durée du traitement a diminué, passant d'une affection sévère à modérée. Les deux derniers chiens (01-03 et 01-04) ont perdu moins de 10% du temps d'activité quotidienne. Ce résultat coïncide avec une augmentation de poids de 3,5 et 4,7% entre V2 et V4. De plus, les examens orthopédiques des dernières visites font état d'une dégradation de l'état général pour le chien 01-03 et une dégradation de la boiterie avec augmentation de la douleur associée pour les deux animaux. La perte de temps d'activité est également concordante avec le score LOAD pour le premier chien. Cependant pour le chien 01-04, les propriétaires ont noté une meilleure mobilité à partir du premier mois de traitement et un changement de catégorie caractérisant l'atteinte articulaire de sévère à modérée, ce qui est différent des résultats fonctionnels.

Nous pouvons également noter que l'activité principale mesurée par le collier est la marche. Les chiens ont passé très peu de temps à la course. Cela peut s'expliquer par l'âge de la population recrutée. Cependant, l'outil basé sur le principe de l'accélérométrie est intéressant et adapté dans le cadre de notre étude pour fournir des données quotidiennes sur l'activité physique des animaux.

Les résultats de l'analyse du tapis de marche ont permis de conclure quant à l'efficacité du traitement individuellement pour chaque animal.

Pour le chien 01-01, le traitement a contribué à un appui plus significatif sur son membre antérieur droit, ce qui était remarqué à l'examen orthopédique lors des visites. Une faiblesse et un déficit d'appui de ce membre avant l'inclusion dans l'étude ne peuvent être exclus auquel cas le traitement aurait permis un rétablissement de la force dans ce membre. L'examen orthopédique coïncide avec les résultats du Walkway quant au report d'appuis sur les membres droits. Concernant l'affection

locomotrice, la prise de la farine évaluée dans l'étude n'a pas amélioré la boiterie mais cette dernière s'est stabilisée. En parallèle, le temps d'activité quotidienne a augmenté de près de 60%.

Concernant le chien 01-02, l'effet du traitement est remarqué à partir du premier mois de prise. En effet, le chien a un meilleur appui sur les quatre membres. D'ailleurs il est noté à l'examen orthopédique et par les propriétaires une légère réduction de la boiterie après les trois mois de traitement. Cependant la légère boiterie localisée à l'épaule du membre thoracique droit n'est pas mise en évidence lors de l'analyse de la marche. Enfin, le temps d'activité quotidienne est augmenté à la fin du traitement, ce qui permet de conclure à un effet favorable du traitement sur ce chien.

Le chien 01-03 présente une répartition anormale de ses appuis d'après les graphiques et les calculs puisque son corps est réparti à 49% sur les membres thoraciques et 51% sur les membres pelviens à la visite 4 par exemple. Au cours de l'étude et avec la prise du traitement, le chien a davantage pris appui sur ses membres droits de 20% pour l'antérieur à 36% pour le postérieur. La boiterie observée à l'examen orthopédique sur le postérieur gauche est visible indirectement à travers les données du Walkway. Une compensation de la droite par rapport aux membres gauches est donc notée.

Le traitement n'a pas eu d'effet positif sur la démarche de ce chien et sur la boiterie des membres thoracique et pelvien gauches. Ces observations vont dans le même sens que les remarques du propriétaire et la baisse d'activité quotidienne transmise par le collier.

Pour confirmer ces tendances, nous regrettons l'absence de données de la visite au cours de la prise de traitement.

Pour le chien 01-04, l'analyse des graphiques des paramètres retenus témoigne d'une dissymétrie des appuis antérieurs avec une boiterie du membre thoracique gauche, non remarquée à l'examen orthopédique.

Le traitement n'a pas eu d'effet favorable sur la boiterie du postérieur droit notée à l'examen clinique de ce chien ni sur l'arthrose des grassets. Au contraire, ces deux éléments se sont d'ailleurs amplifiés au cours de l'étude. Une altération des paramètres du membre thoracique gauche témoignerait d'une boiterie de cette patte, et non de l'antérieur droit comme décrit à l'examen orthopédique de la dernière visite. Toutefois, les propriétaires sont globalement satisfaits car leur chien présente moins de raideurs et semble selon eux avoir augmenté la durée de son activité quotidienne durant les trois mois de traitement. Cette perception est subjective puisque les données transmises par le collier d'activité témoignent du contraire.

Les résultats du chien 01-05 montrent des différences entre les examens cliniques et l'analyse de la démarche. En effet, à la fin du traitement le chien présente une amélioration clinique avec une diminution de la boiterie du membre pelvien droit et une disparition de l'amyotrophie malgré la perte de 5,5% de son poids. Par ailleurs, il a augmenté son temps d'activité quotidienne de 18%. De plus, les propriétaires sont satisfaits de l'évolution puisque le chien présente pour eux une diminution de la boiterie et de la douleur associée, ce qui est également noté lors de l'attribution des scores vétérinaires. Cependant l'analyse de la démarche ne révèle aucune amélioration des quatre paramètres mais plutôt une stabilisation en particulier pour les postérieurs à partir du premier mois de traitement. Les anomalies notées aux examens cliniques ne sont pas constatées sur les différents graphiques d'analyse de la marche en particulier la boiterie du membre pelvien droit en amélioration. La

supplémentation a donc montré une amélioration clinique de la démarche mais non objectivée par le tapis.

La force maximale du chien 01-06 est diminuée sur les quatre membres, montrant un appui affaibli et un déplacement moins rapide sur le tapis à la fin de l'étude. Parallèlement il a perdu près de 5% de son poids initial à la dernière visite. De plus cliniquement, la boiterie est toujours présente après les trois mois. La prise du nutriment durant trois mois n'a donc eu aucun effet bénéfique sur la démarche de ce chien.

Cependant, les propriétaires sont satisfaits de l'évolution et ont noté une augmentation de son activité quotidienne, contrairement aux données du collier qui sont stables sur la période. Aucune douleur telle que celle rapportée à l'examen d'entrée n'est apparue au cours de l'étude. Cette observation peut être corrélée avec une diminution de la douleur lors de la manipulation des articulations à l'examen orthopédique.

F. Conclusion de l'étude clinique

De manière générale, l'étude a montré une bonne tolérance du complément alimentaire testé. Cependant, la farine a eu un impact sur le foie de certains animaux notamment avec une augmentation légère de la cholestérolémie, mais pas sur les reins malgré l'importante quantité de protéines. De plus, le produit parfois non appétant et très riche en énergie a eu de légères répercussions sur le poids des animaux malgré un retrait de la ration. Une précision sur la composition du produit testé en particulier de la teneur en graisses totales permettrait un ajustement de la quantité de nutriment à apporter et de la quantité d'aliment à retirer quotidiennement de la ration afin de réguler les apports caloriques.

L'efficacité a été suivie cliniquement ainsi qu'à l'aide d'outils destinés à analyser la démarche de manière fonctionnelle. Ils ont montré une stabilisation de la boiterie chez la majorité des chiens inclus. Comme la majorité des traitements contre l'arthrose, les résultats obtenus montrent de fortes variabilités individuelles. Nous avons pu noter qu'il n'est pas efficace sur les animaux trop vieux ou présentant de l'arthrose sévère réfractaire aux traitements conventionnels. C'est pourquoi un ciblage précis de la population canine serait bénéfique pour une meilleure efficacité du produit testé.

L'étude clinique a permis d'associer des méthodes subjectives et objectives de l'analyse de la marche et ainsi de faire émerger les différences passées inaperçues avec les critères d'évaluations subjectifs.

Toutefois, notre étude clinique présente des limites. En effet, des difficultés de recrutement n'ont permis de réaliser des essais que sur un faible nombre d'animaux, ce qui ne permet pas d'effectuer des statistiques et de conclure quant à l'efficacité du produit testé. Le protocole a été élaboré par une entreprise privée, qui, pour cause de confidentialité, n'a pas transmis la composition précise du produit testé. Aussi les dosages de certains paramètres sanguins se sont révélés peu utiles dans le cadre de notre étude.

Conclusion

Dans les premiers temps, la locomotion animale a surtout été analysée visuellement grâce à des examens cliniques et à des scores peu reproductibles. La médecine vétérinaire a donc présenté pendant longtemps des difficultés pour obtenir des données quantifiables et objectives des anomalies de la marche. Puis différents outils non invasifs ont été développés pour une mesure rapide, reproductible et objective de la démarche.

De plus en plus disponibles sur le marché, ils sont utilisés dans divers domaines de la médecine et au quotidien. Les dispositifs les plus fréquemment rencontrés sont ceux à capteurs de pression, les accéléromètres ou encore les plaques de force.

Nous avons réalisé une étude ouverte dans le but de démontrer l'intérêt d'utiliser un tapis d'analyse de la marche de type Walkway développé par la marque Tekscan™ dans l'évaluation d'un complément alimentaire. L'étude clinique a été menée sur six chiens âgés et arthrosiques. La tolérance et l'efficacité du produit dans la reprise de l'activité physique ont été étudiées et ont montré des résultats globalement satisfaisants. En effet, la majorité des animaux a présenté une stabilisation de la boiterie provoquée par l'arthrose, suite à la prise du complément alimentaire pendant trois mois. Le tapis d'analyse de la marche et le collier d'activité ont permis d'obtenir des résultats plus précis que ceux des scores vétérinaires et des examens cliniques et différaient parfois des examens orthopédiques.

Un recrutement d'une cohorte de chiens plus importante aurait permis de réaliser des statistiques afin de conclure sur l'intérêt du traitement chez les animaux âgés et souffrant d'arthrose.

Bibliographie

- [1] Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW. Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *Am J Vet Res* 1987;48:915–8.
- [2] Kara H, Çağlar C, Asiltürk M, Karahan S, Uğurlu M. Comparison of a manual walking platform and the CatWalk gait analysis system in a rat osteoarthritis model. *Adv Clin Exp Med* 2021;30:949–56. <https://doi.org/10.17219/acem/137536>.
- [3] McDonough AL, Batavia M, Chen FC, Kwon S, Ziai J. The validity and reliability of the GAITRite system's measurements: A preliminary evaluation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2001;82:419–25. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.19778>.
- [4] capteur - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples | Dico en ligne Le Robert n.d. <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/capteur> (accessed May 9, 2023).
- [5] Définition d'un capteur de pression. HBM 2022. <https://www.hbm.com/fr/7646/definition-dun-capteur-de-pression-comment-ca-marche/> (accessed May 9, 2023).
- [6] What is a strain gauge? | Omega Engineering n.d. <https://www.omega.co.uk/prodinfo/StrainGauges.html> (accessed May 9, 2023).
- [7] Capacitive vs Piezoresistive vs Piezoelectric Pressure Sensors | The Design Engineer's Guide | Avnet Abacus n.d. <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/capacitive-vs-piezoresistive-vs-piezoelectric/> (accessed May 9, 2023).
- [8] Kieves NR. Objective Gait Analysis: Review and Clinical Applications. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 2022;52:857–67. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2022.03.009>.
- [9] GAIT4Dog | Quadrupeds Gait Analysis. Gait4Dog-New n.d. <https://www.gait4dog.com> (accessed May 10, 2023).
- [10] Hansen BD, Lascelles BDX, Keene BW, Adams AK, Thomson AE. Evaluation of an accelerometer for at-home monitoring of spontaneous activity in dogs. *Am J Vet Res* 2007;68:468–75. <https://doi.org/10.2460/ajvr.68.5.468>.
- [11] Belda B, Enomoto M, Case BC, Lascelles BDX. Initial evaluation of PetPace activity monitor. *The Veterinary Journal* 2018;237:63–8. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.011>.
- [12] Comment cela fonctionne et quand l'accéléromètre est-il utilisé? n.d. <https://www.tme.eu/fr/news/library-articles/page/22568/Comment-cela-fonctionne-et-quand-laccelerometre-est-il-utilise-/> (accessed August 16, 2023).
- [13] Michel KE, Brown DC. Determination and application of cut points for accelerometer-based activity counts of activities with differing intensity in pet dogs. *Am J Vet Res* 2011;72:866–70. <https://doi.org/10.2460/ajvr.72.7.866>.

- [14] Mejia S, Duerr FM, Salman M. Comparison of activity levels derived from two accelerometers in dogs with osteoarthritis: Implications for clinical trials. *The Veterinary Journal* 2019;252:105355. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2019.105355>.
- [15] Yam PS, Penpraze V, Young D, Todd MS, Cloney AD, Houston-Callaghan KA, et al. Validity, practical utility and reliability of Actigraph accelerometry for the measurement of habitual physical activity in dogs. *Journal of Small Animal Practice* 2011;52:86–91. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2010.01025.x>.
- [16] Williams HJ, Holton MD, Shepard ELC, Largey N, Norman B, Ryan PG, et al. Identification of animal movement patterns using tri-axial magnetometry. *Mov Ecol* 2017;5:6. <https://doi.org/10.1186/s40462-017-0097-x>.
- [17] Keegan KG, Yonezawa Y, Pai PF, Wilson DA, Kramer J. Evaluation of a sensor-based system of motion analysis for detection and quantification of forelimb and hind limb lameness in horses. *American Journal of Veterinary Research* 2004;65:665–70. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2004.65.665>.
- [18] Eerdeken A, Deruyck M, Fontaine J, Damiaans B, Martens L, De Poorter E, et al. Horse Jumping and Dressage Training Activity Detection Using Accelerometer Data. *Animals (Basel)* 2021;11:2904. <https://doi.org/10.3390/ani11102904>.
- [19] Brown DC, Boston RC, Farrar JT. Use of an activity monitor to detect response to treatment in dogs with osteoarthritis. *Javma* 2010;237:66–70. <https://doi.org/10.2460/javma.237.1.66>.
- [20] Muller C, Gines JA, Conzemius M, Meyers R, Lascelles BDX. Evaluation of the effect of signalment and owner-reported impairment level on accelerometer-measured changes in activity in osteoarthritic dogs receiving a non-steroidal anti-inflammatory. *The Veterinary Journal* 2018;242:48–52. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.10.005>.
- [21] Lee AH, Detweiler KB, Harper TA, Knap KE, de Godoy MRC, Swanson KS. Physical activity patterns of free living dogs diagnosed with osteoarthritis. *J Anim Sci* 2021;99:skab204. <https://doi.org/10.1093/jas/skab204>.
- [22] Schuster L a. H, de Carvalho AL, dos Santos E a. R, de Oliveira MP, Camacho-Rozo CA, Raposo Monteiro E, et al. Physical activity measured with an accelerometer in dogs following extracapsular stabilisation to treat cranial cruciate ligament rupture. *Journal of Small Animal Practice* n.d.;n/a. <https://doi.org/10.1111/jsap.13645>.
- [23] Wernimont SM, Thompson RJ, Mickelsen SL, Smith SC, Alvarenga IC, Gross KL. Use of Accelerometer Activity Monitors to Detect Changes in Pruritic Behaviors: Interim Clinical Data on 6 Dogs. *Sensors (Basel)* 2018;18:249. <https://doi.org/10.3390/s18010249>.
- [24] Nuttall T, McEwan N. Objective measurement of pruritus in dogs: a preliminary study using activity monitors 2006.
- [25] Muñana KR, Nettifee JA, Griffith EH, Early PJ, Yoder NC. Evaluation of a collar-mounted accelerometer for detecting seizure activity in dogs. *J Vet Intern Med* 2020;34:1239–47. <https://doi.org/10.1111/jvim.15760>.

- [26] Morrison R, Penpraze V, Greening R, Underwood T, Reilly JJ, Yam PS. Correlates of objectively measured physical activity in dogs. *The Veterinary Journal* 2014;199:263–7. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.11.023>.
- [27] Halsey LG, Shepard ELC, Wilson RP. Assessing the development and application of the accelerometry technique for estimating energy expenditure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 2011;158:305–14. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.09.002>.
- [28] Morrison R, Penpraze V, Beber A, Reilly JJ, Yam PS. Associations between obesity and physical activity in dogs: a preliminary investigation. *J Small Anim Pract* 2013;54:570–4. <https://doi.org/10.1111/jsap.12142>.
- [29] Halsey LG, White CR, Enstipp MR, Wilson RP, Butler PJ, Martin GR, et al. Assessing the validity of the accelerometry technique for estimating the energy expenditure of diving double-crested cormorants *Phalacrocorax auritus*. *Physiol Biochem Zool* 2011;84:230–7. <https://doi.org/10.1086/658636>.
- [30] Williams HJ, Shepard ELC, Duriez O, Lambertucci SA. Can accelerometry be used to distinguish between flight types in soaring birds? *Animal Biotelemetry* 2015;3:45. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0077-0>.
- [31] Preston T, Baltzer W, Trost S. Accelerometer validity and placement for detection of changes in physical activity in dogs under controlled conditions on a treadmill. *Research in Veterinary Science* 2012;93:412–6. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.08.005>.
- [32] Bolton S, Cave N, Cogger N, Colborne GR. Use of a Collar-Mounted Triaxial Accelerometer to Predict Speed and Gait in Dogs. *Animals* 2021;11:1262. <https://doi.org/10.3390/ani11051262>.
- [33] Söhnel K, Fischer MS, Häusler K. Treadmill vs. overground trotting - a comparison of two kinetic measurement systems. *Research in Veterinary Science* 2022;150:149–55. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.019>.
- [34] McLaughlin RM. Kinetic and Kinematic Gait Analysis in Dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 2001;31:193–201. [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(01\)50045-5](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(01)50045-5).
- [35] Force Plate - an overview | ScienceDirect Topics n.d. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/force-plate> (accessed March 30, 2023).
- [36] Katic N, Bockstahler BA, Mueller M, Peham C. Fourier analysis of vertical ground reaction forces in dogs with unilateral hind limb lameness caused by degenerative disease of the hip joint and in dogs without lameness. *Ajvr* 2009;70:118–26. <https://doi.org/10.2460/ajvr.70.1.118>.
- [37] Braun L, Tichy A, Peham C, Bockstahler B. Comparison of vertical force redistribution in the pads of dogs with elbow osteoarthritis and healthy dogs. *The Veterinary Journal* 2019;250:79–85. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2019.06.004>.

- [38] DeCamp CE. Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1997;27:825–40. [https://doi.org/10.1016/s0195-5616\(97\)50082-9](https://doi.org/10.1016/s0195-5616(97)50082-9).
- [39] Voss K, Galeandro L, Wiestner T, Haessig M, Montavon PM. Relationships of Body Weight, Body Size, Subject Velocity, and Vertical Ground Reaction Forces in Trotting Dogs: Vertical Ground Reaction Forces in Trotting Dogs. *Veterinary Surgery* 2010;39:863–9. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00729.x>.
- [40] Fanchon L, Grandjean D. Accuracy of asymmetry indices of ground reaction forces for diagnosis of hind limb lameness in dogs. *Ajvr* 2007;68:1089–94. <https://doi.org/10.2460/ajvr.68.10.1089>.
- [41] Hans EC, Zwarthoed B, Seliski J, Nemke B, Muir P. Variance associated with subject velocity and trial repetition during force platform gait analysis in a heterogeneous population of clinically normal dogs. *The Veterinary Journal* 2014;202:498–502. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.09.022>.
- [42] Bockstahler BA, Skalicky M, Peham C, Müller M, Lorinson D. Reliability of ground reaction forces measured on a treadmill system in healthy dogs. *The Veterinary Journal* 2007;173:373–8. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2005.10.004>.
- [43] Mölsä SH, Hielm-Björkman AK, Laitinen-Vapaavuori OM. Force Platform Analysis in Clinically Healthy Rottweilers: Comparison with Labrador Retrievers. *Veterinary Surgery* 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00651.x>.
- [44] Alves JC, Santos A, Jorge P, Lavrador C, Carreira LM. Characterization of Weight-bearing Compensation in Dogs With Bilateral Hip Osteoarthritis. *Topics in Companion Animal Medicine* 2022;49:100655. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100655>.
- [45] Suwankong N, Meij BP, Van Klaveren NJ, Van Wees AMTC, Meijer E, Van Den Brom WE, et al. Assessment of Decompressive Surgery in Dogs with Degenerative Lumbosacral Stenosis Using Force Plate Analysis and Questionnaires. *Vet Surgery* 2007;36:423–31. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2007.00288.x>.
- [46] Evans R, Horstman C, Conzemius M. Accuracy and Optimization of Force Platform Gait Analysis in Labradors with Cranial Cruciate Disease Evaluated at a Walking Gait. *Veterinary Surgery* 2005;34:445–9. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2005.00067.x>.
- [47] McLaughlin RM, Roush JK. Effects of subject stance time and velocity on ground reaction forces in clinically normal greyhounds at the trot. *Am J Vet Res* 1994;55:1666–71.
- [48] Pressure Mapping, Force Measurement, & Tactile Sensors | Tekscan n.d. <https://www.tekscan.com/> (accessed May 22, 2023).
- [49] zebris Medical GmbH: CanidGait-Gait analysis for dogs. Measuring system for diagnostics, therapy and rehabilitation n.d. <https://www.zebris.de/en/veterinary/canidgait-gait-analysis-for-dogs-measuring-system-for-diagnostics-therapy-and-rehabilitation> (accessed July 12, 2023).
- [50] Assaf N, Rahal S, Mesquita L, Kano W, Abibe R. Evaluation of parameters obtained from two systems of gait analysis. *Aust Vet J* 2019;97:414–7. <https://doi.org/10.1111/avj.12860>.

- [51] Viguier E, Le Quang T, Maitre P, Gaudin A, Rawling M, Hass D. The validity and reliability of the GAITRite[®] system's measurement of the walking dog. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 2007;10:113–4. <https://doi.org/10.1080/10255840701479297>.
- [52] Hoof Pressure Measurement | Hoof System | Tekscan n.d. <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/hoof-system> (accessed April 10, 2023).
- [53] Al Naem M, Litzke L, Failing K, Burk J, Röcken M. Hoof kinetic patterns differ between sound and laminitic horses. *Equine Vet J* 2021;53:503–9. <https://doi.org/10.1111/evj.13311>.
- [54] Gait analysis system | CatWalk XT n.d. https://www.noldus.com/catwalk-xt?utm_term=noldus%20catwalk&utm_campaign=OTM%7CAnimal%7CCatWalk+XT%7CBranded&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=5401040478&hsa_cam=10341970557&hsa_grp=103267879859&hsa_ad=443419329551&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-919440003743&hsa_kw=noldus%20catwalk&hsa_mt=e&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQIAorKfBhC0ARIsAHDzsltxYqAzimzwtw5naX0uKzZ53AfqB3_ZEHBjBAqJpiWvzccGngBfwIIaArwaEALw_wcB (accessed April 12, 2023).
- [55] Torres BT. Objective Gait Analysis. In: Duerr FM, editor. *Canine Lameness*. 1st ed., Wiley; 2020, p. 15–30. <https://doi.org/10.1002/9781119473992.ch2>.
- [56] Gungoren G, Demircioglu I, Demiraslan Y, Gezer Ince N. Determining the correlation between external structure and center of pressures (COP) analysis data of Aksaray Malakli dogs: A pilot study. *Veterinaria* 2023. <https://doi.org/10.51607/22331360.2023.72.1.101>.
- [57] Carr BJ, Dycus DL. *Canine Gait Analysis*. Today's Veterinary Practice 2016.
- [58] Fahie MA, Cortez JC, Ledesma M, Su Y. Pressure Mat Analysis of Walk and Trot Gait Characteristics in 66 Normal Small, Medium, Large, and Giant Breed Dogs. *Front Vet Sci* 2018;5:256. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00256>.
- [59] Brønnicke Møller Nielsen M, Pedersen T, Mouritzen A, Vitger AD, Nielsen LN, Poulsen HH, et al. Kinetic gait analysis in healthy dogs and dogs with osteoarthritis: An evaluation of precision and overlap performance of a pressure-sensitive walkway and the use of symmetry indices. *PLoS ONE* 2020;15:e0243819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243819>.
- [60] Logan AA, Nielsen BD, Hallock DB, Robison CI, Popovich JM. Evaluation of Within- and Between- Session Reliability of the TekscanTM Hoof System With a Glue-on Shoe. *Journal of Equine Veterinary Science* 2022;110:103862. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2021.103862>.
- [61] Häusler KA, Braun D, Liu N-C, Penrose F, Sutcliffe MPF, Allen MJ. Evaluation of the repeatability of kinetic and temporospatial gait variables measured with a pressure-sensitive treadmill for dogs. *Ajvr* 2020;81:922–9. <https://doi.org/10.2460/ajvr.81.12.922>.
- [62] Schnabl-Feichter E, Tichy A, Bockstahler B. Coefficients of variation of ground reaction force measurement in cats. *PLoS ONE* 2017;12:e0171946. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171946>.
- [63] Collard F, Maitre P, Quang TL, Fau D, Carozzo C, Genevois J, et al. Canine hip denervation: comparison between clinical outcome and gait analysis. *Revue De Medecine Veterinaire* 2010.

- [64] Seibert R, Marcellin-Little DJ, Roe SC, DePuy V, Lascelles BDX. Comparison of Body Weight Distribution, Peak Vertical Force, and Vertical Impulse as Measures of Hip Joint Pain and Efficacy of Total Hip Replacement: Limb Use Outcome Measures. *Veterinary Surgery* 2012;41:443–7. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2012.00957.x>.
- [65] Engstig M, Vesterinen S, Morelius M, Junnila J, Hyytiäinen HK. Effect of Femoral Head and Neck Osteotomy on Canines' Functional Pelvic Position and Locomotion. *Animals* 2022;12:1631. <https://doi.org/10.3390/ani12131631>.
- [66] Bailleul S. Evaluation des paramètres spatio-temporels de la marche lors d'affection du genou chez le chien : utilisation d'un tapis GaitRite. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 2008.
- [67] Ferreira M, Ferrigno C, De Souza A, Caquias D, De Figueiredo A. Short-term comparison of tibial tuberosity advancement and tibial plateau levelling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament disease using kinetic analysis. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2016;29:209–13. <https://doi.org/10.3415/VCOT-15-01-0009>.
- [68] Coskun Ö, Viskjer S. Evaluating the outcome after center of rotation of angulation (CORA)-based leveling osteotomy (CBLO) technique to repair unilateral cranial cruciate ligament deficiency using a pressure-sensitive walkway system. *Canadian Journal of Veterinary Research* 2023;87:157–64.
- [69] Benjamin M, Yik S. Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners. *Animals* 2019;9:133. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>.
- [70] Johnson AK, Colpoys JD, Edwards-Callaway LN, Calvo-Lorenzo M, McGlone JJ, Millman ST, et al. Behavior and Welfare. In: Zimmerman JJ, Karriker LA, Ramirez A, Schwartz KJ, Stevenson GW, Zhang J, editors. *Diseases of Swine*. 1st ed., Wiley; 2019, p. 17–41. <https://doi.org/10.1002/9781119350927.ch2>.
- [71] Clough W, Canapp S, Taboada L, Dycus D, Leasure C. Sensitivity and Specificity of a Weight Distribution Platform for the Detection of Objective Lameness and Orthopaedic Disease. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2018;31:391–5. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1667063>.
- [72] Gibert S. Les affections orthopédiques chez le chien : corrélation entre les résultats de l'examen clinique et ceux de l'analyse spatio-temporelle à l'aide d'un système GaitRite. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 2009.
- [73] Oehme B, Geiger SM, Grund S, Hainke K, Munzel J, Mülling CKW. Effect of different flooring types on pressure distribution under the bovine claw – an ex vivo study. *BMC Vet Res* 2018;14:259. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1579-9>.
- [74] Hoffmann JR, Geburek F, Hagen J, Büttner K, Cruz AM, Röcken M. Bilateral Change in Vertical Hoof Force Distribution in Horses with Unilateral Forelimb Lameness before and after Successful Diagnostic Anaesthesia. *Animals* 2022;12:2485. <https://doi.org/10.3390/ani12182485>.
- [75] Logan AA, Nielsen BD, Robison CI, Hallock DB, Manfredi JM, Hiney KM, et al. Impact of Gait and Diameter during Circular Exercise on Front Hoof Area, Vertical Force, and Pressure in Mature Horses. *Animals* 2021;11:3581. <https://doi.org/10.3390/ani11123581>.

- [76] Moreau M, Rialland P, Pelletier J-P, Martel-Pelletier J, Lajeunesse D, Boileau C, et al. Tiludronate treatment improves structural changes and symptoms of osteoarthritis in the canine anterior cruciate ligament model. *Arthritis Res Ther* 2011;13:R98. <https://doi.org/10.1186/ar3373>.
- [77] Fouasson-Chailloux A, Dauty M, Bodic B, Masson M, Maugars Y, Metayer B, et al. Posttraumatic Osteoarthritis Damage in Mice: From Histological and Micro-Computed Tomodensitometric Changes to Gait Disturbance. *CARTILAGE* 2021;13:1478S-1489S. <https://doi.org/10.1177/19476035211053821>.
- [78] Maitre P, Lequang T, Fau D, Genevois JP, Viguier E. Hip dysplasia in dogs: correlation between clinical lameness score, radiographic findings and walkway gait analysis. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 2008;11:153–4. <https://doi.org/10.1080/10255840802297036>.
- [79] Wyatt SE, Lafuente P, Ter Haar G, Packer RMA, Smith H, De Decker S. Gait analysis in French bulldogs with and without vertebral kyphosis. *The Veterinary Journal* 2019;244:45–50. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.12.008>.
- [80] Gordon-Evans WJ, Evans RB, Knap KE, Hildreth JM, Pinel CB, Imhoff DJ, et al. Characterization of spatiotemporal gait characteristics in clinically normal dogs and dogs with spinal cord disease. *Ajvr* 2009;70:1444–9. <https://doi.org/10.2460/ajvr.70.12.1444>.
- [81] Hamers FPT, Koopmans GC, Joosten EAJ. CatWalk-Assisted Gait Analysis in the Assessment of Spinal Cord Injury. *Journal of Neurotrauma* 2006;23:537–48. <https://doi.org/10.1089/neu.2006.23.537>.
- [82] Schramke S, Schuldenzucker V, Schubert R, Frank F, Wirsig M, Ott S, et al. Behavioral phenotyping of minipigs transgenic for the Huntington gene. *Journal of Neuroscience Methods* 2016;265:34–45. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2015.11.013>.
- [83] Zhou M, Zhang W, Chang J, Wang J, Zheng W, Yang Y, et al. Gait analysis in three different 6-hydroxydopamine rat models of Parkinson's disease. *Neuroscience Letters* 2015;584:184–9. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.10.032>.
- [84] Timotius IK, Roelofs RF, Richmond-Hacham B, Noldus LPJJ, Von Hörsten S, Bikovski L. CatWalk XT gait parameters: a review of reported parameters in pre-clinical studies of multiple central nervous system and peripheral nervous system disease models. *Front Behav Neurosci* 2023;17:1147784. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1147784>.
- [85] Pavarotti GS, Hivernaud V, Brincin M, Roche R, Barreau P, Festy F, et al. Evaluation of a Single Intra-Articular Injection of Autologous Adipose Tissue for the Treatment of Osteoarthritis: A Prospective Clinical Study in Dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2020;33:258–66. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1708524>.
- [86] Çağlar C, Kara H, Ateş O, Uğurlu M. Evaluation of Different Intraarticular Injection Therapies with Gait Analysis in a Rat Osteoarthritis Model. *CARTILAGE* 2021;13:1134S-1143S. <https://doi.org/10.1177/19476035211046042>.
- [87] Venator K, Frye CW, Gamble L-J, Wakshlag JJ. Assessment of a Single Intra-Articular Stifle Injection of Pure Platelet Rich Plasma on Symmetry Indices in Dogs with Unilateral or

Bilateral Stifle Osteoarthritis from Long-Term Medically Managed Cranial Cruciate Ligament Disease. *VMRR* 2020;Volume 11:31–8. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S238598>.

- [88] Lee M-I, Kim J-H, Kwak H-H, Woo H-M, Han J-H, Yayon A, et al. A placebo-controlled study comparing the efficacy of intra-articular injections of hyaluronic acid and a novel hyaluronic acid-platelet-rich plasma conjugate in a canine model of osteoarthritis. *J Orthop Surg Res* 2019;14:314. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1352-1>.
- [89] Pairis-Garcia MD, Johnson AK, Abell CA, Coetzee JF, Karriker LA, Millman ST, et al. Measuring the efficacy of flunixin meglumine and meloxicam for lame sows using a GAITFour pressure mat and an embedded microcomputer-based force plate system1. *Journal of Animal Science* 2015;93:2100–10. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8796>.
- [90] Almeida D, Wendt-Hornickle E, Conzemius MG. Evaluation of Gabapentin in the Treatment of Postoperative Pain after a Tibial Plateau Levelling Osteotomy in Dogs. *VCOT Open* 2023;06:e1–7. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1751069>.
- [91] Vassalo FG, Rahal SC, Agostinho FS, Mamprim MJ, Melchert A, Kano WT, et al. Gait analysis in dogs with pelvic fractures treated conservatively using a pressure-sensing walkway. *Acta Vet Scand* 2015;57:68. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0158-3>.
- [92] Mack DL, Poulard K, Goddard MA, Latournerie V, Snyder JM, Grange RW, et al. Systemic AAV8-Mediated Gene Therapy Drives Whole-Body Correction of Myotubular Myopathy in Dogs. *Molecular Therapy* 2017;25:839–54. <https://doi.org/10.1016/j.ymthe.2017.02.004>.
- [93] Beths T, Munn R, Bauquier S, Mitchell P, Whitem T. A pilot study of 4CYTE™ Epiitalis® Forte, a novel nutraceutical, in the management of naturally occurring osteoarthritis in dogs. *Aust Vet J* 2020;98:591–5. <https://doi.org/10.1111/avj.13024>.
- [94] Baker-Meuten A, Wendland T, Shamir SK, Hess AM, Duerr FM. Evaluation of acupuncture for the treatment of pain associated with naturally-occurring osteoarthritis in dogs: a prospective, randomized, placebo-controlled, blinded clinical trial. *BMC Vet Res* 2020;16:357. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02567-1>.
- [95] Lange C, Kattelans A, Rohn K, Lüpke M, Brückner HP, Stadler P. Kinetic examination of initial hoof contact, load distribution and break-over in the forelimbs of horses walking and trotting on a treadmill using the HoofTM System (Tekscan®). *Pferdeheilkunde* 2012;28:538–47.
- [96] Frohlich H, Claes K, De Wolf C, Van Damme X, Michel A. A Machine Learning Approach to Automated Gait Analysis for the Noldus Catwalk System. *IEEE Trans Biomed Eng* 2018;65:1133–9. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2701204>.
- [97] Rudisch J, Jöllenbeck T, Vogt L, Cordes T, Klotzbier TJ, Vogel O, et al. Agreement and consistency of five different clinical gait analysis systems in the assessment of spatiotemporal gait parameters. *Gait & Posture* 2021;85:55–64. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.013>.
- [98] Gordon-Evans WJ, Evans RB, Conzemius MG. Accuracy of Spatiotemporal Variables in Gait Analysis of Neurologic Dogs n.d.

- [99] Bozkurt A, Deumens R, Scheffel J, O'Dey DM, Weis J, Joosten EA, et al. CatWalk gait analysis in assessment of functional recovery after sciatic nerve injury. *Journal of Neuroscience Methods* 2008;173:91–8. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.05.020>.
- [100] zebris Medical GmbH: RehaWalk® - gait analysis and training in rehabilitation n.d. <https://www.zebris.de/en/medical/rehawalkr-gait-analysis-and-training-in-rehabilitation> (accessed August 31, 2023).
- [101] Kelly M, Jones P, Wuebbles R, Lugade V, Cipriani D, Murray NG. A novel smartphone application is reliable for repeat administration and comparable to the Tekscan Strideway for spatiotemporal gait. *Measurement* 2022;192:110882. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110882>.
- [102] Coda A, Carline T, Santos D. Repeatability and reproducibility of the Tekscan HR-Walkway system in healthy children. *Foot (Edinb)* 2014;24:49–55. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2014.02.004>.
- [103] Abou L, Peters J, Wong E, Akers R, Dossou MS, Sosnoff JJ, et al. Gait and Balance Assessments using Smartphone Applications in Parkinson's Disease: A Systematic Review. *J Med Syst* 2021;45:87. <https://doi.org/10.1007/s10916-021-01760-5>.
- [104] Vítěčková S, Horáková H, Poláková K, Krupička R, Růžička E, Brožová H. Agreement between the GAITRite® System and the Wearable Sensor BTS G-Walk® for measurement of gait parameters in healthy adults and Parkinson's disease patients. *PeerJ* 2020;8:e8835. <https://doi.org/10.7717/peerj.8835>.
- [105] Ferrarello F, Bianchi VAM, Baccini M, Rubbieri G, Mossello E, Cavallini MC, et al. Tools for Observational Gait Analysis in Patients With Stroke: A Systematic Review. *Physical Therapy* 2013;93:1673–85. <https://doi.org/10.2522/ptj.20120344>.
- [106] Geiger M, Supiot A, Pradon D, Do M-C, Zory R, Roche N. Minimal detectable change of kinematic and spatiotemporal parameters in patients with chronic stroke across three sessions of gait analysis. *Human Movement Science* 2019;64:101–7. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.01.011>.
- [107] Goncalves S, Mandigout S, Lafitte-Houssat B, Le Bourvellec M, Duclos N. Comparaison de l'accéléromètre et du cardiofréquencemètre pour quantifier le niveau d'activité physique des patients post-AVC en séance de kinésithérapie en cabinet libéral. *Kinésithérapie, La Revue* 2023;23:63. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2022.12.110>.
- [108] Pulignano G, Del Sindaco D, Di Lenarda A, Alunni G, Senni M, Tarantini L, et al. Incremental Value of Gait Speed in Predicting Prognosis of Older Adults With Heart Failure: Insights From the IMAGE-HF Study. *JACC Heart Fail* 2016;4:289–98. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2015.12.017>.
- [109] Tanaka S, Kamiya K, Hamazaki N, Matsuzawa R, Nozaki K, Nakamura T, et al. Short-Term Change in Gait Speed and Clinical Outcomes in Older Patients With Acute Heart Failure. *Circulation Journal* 2019;83:1860–7. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-19-0136>.
- [110] Brady MF, Bradley MP, Fleming BC, Fadale PD, Hulstyn MJ, Banerjee R. Effects of Initial Graft Tension on the Tibiofemoral Compressive Forces and Joint Position Following ACL

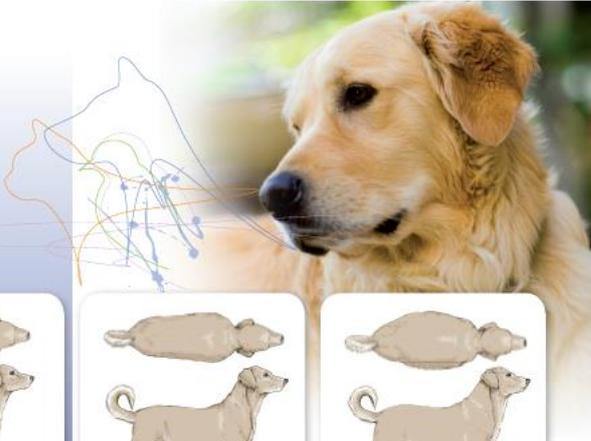
Reconstruction. Am J Sports Med 2007;35:395–403.
<https://doi.org/10.1177/0363546506294363>.

- [111] Gabert L, Lenzi T. Instrumented Pyramid Adapter for Amputee Gait Analysis and Powered Prosthesis Control. IEEE Sensors Journal 2019;19:8272–82.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2920179>.
- [112] Zhang H, Guo Y, Zanotto D. Accurate Ambulatory Gait Analysis in Walking and Running Using Machine Learning Models. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 2020;28:191–202. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2958679>.
- [113] Guy-Cherry D, Alanazi A, Miller L, Staloch D, Ortiz-Rodriguez A. Landing Styles Influences Reactive Strength Index without Increasing Risk for Injury. Sports Med Int Open 2018;2:E35–40. <https://doi.org/10.1055/a-0608-4280>.
- [114] Senior Care Guidelines Task Force, AAHA, Epstein M, Kuehn NF, Landsberg G, Lascelles BDX, Marks SL, et al. AAHA senior care guidelines for dogs and cats. J Am Anim Hosp Assoc 2005;41:81–91. <https://doi.org/10.5326/0410081>.
- [115] Pfizer Animal Health proprietary market research ; survey of 200 veterinarians 1996.
- [116] Goldston R, Hoskins J. Geriatrics and gerontology of the dog and cat, 1995.
- [117] Mealworm. Wikipedia 2023.
- [118] Eldar T. Vers de farine, larves de Tenebrio molitor. 2019.
- [119] Cline MG, Burns KM, Coe JB, Downing R, Durzi T, Murphy M, et al. 2021 AAHA Nutrition and Weight Management Guidelines for Dogs and Cats. Journal of the American Animal Hospital Association 2021;57:153–78. <https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-7232>.
- [120] Hielm-Björkman AK, Kapatkin AS, Rita HJ. Reliability and validity of a visual analogue scale used by owners to measure chronic pain attributable to osteoarthritis in their dogs. Ajvr 2011;72:601–7. <https://doi.org/10.2460/ajvr.72.5.601>.
- [121] Aulakh KS, Dongaonkar KR, Barnes K, Gines AJ, Bordelon JT, Hulse D, et al. Influence of orthopedic examination on lameness scores and interobserver and intraobserver agreement in dogs with naturally occurring elbow osteoarthritis. Veterinary Surgery 2020;49:455–62. <https://doi.org/10.1111/vsu.13390>.
- [122] Guy-Thollot I, Hernandez J. Utilité de l'ionogramme chez le chien et le chat. La Semaine Vétérinaire N° 1483 2012:44–5.
- [123] CRP - IDEXX France n.d. <https://www.idexx.fr/fr/veterinary/analyzers/catalyst-one-chemistry-analyzer/c-reactive-protein/> (accessed July 11, 2023).
- [124] Canonne AM, Menard M, Maurey C, Benchrekroun G, Fernandes Rodrigues N, Billen F, et al. Comparison of C-reactive protein concentrations in dogs with Bordetella bronchiseptica infection and aspiration bronchopneumonia. J Vet Intern Med 2021;35:1519–24. <https://doi.org/10.1111/jvim.16091>.

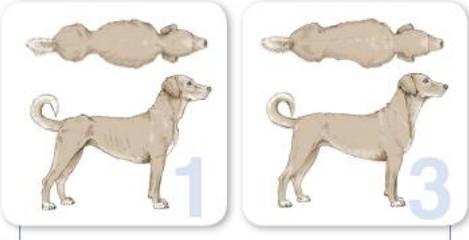
- [125] Nakamura M, Takahashi M, Ohno K, Koshino A, Nakashima K, Setoguchi A, et al. C-Reactive Protein Concentration in Dogs with Various Diseases. *J Vet Med Sci* 2008;70:127–31. <https://doi.org/10.1292/jvms.70.127>.
- [126] Pearle AD, Scanzello CR, George S, Mandl LA, DiCarlo EF, Peterson M, et al. Elevated high-sensitivity C-reactive protein levels are associated with local inflammatory findings in patients with osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage* 2007;15:516–23. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2006.10.010>.
- [127] Hillström A, Bylin J, Hagman R, Björhall K, Tvedten H, Königsson K, et al. Measurement of serum C-reactive protein concentration for discriminating between suppurative arthritis and osteoarthritis in dogs. *BMC Vet Res* 2016;12:240. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0868-4>.
- [128] Hurter K, Spreng D, Rytz U, Schawalder P, Ott-Knüsel F, Schmökel H. Measurements of C-reactive protein in serum and lactate dehydrogenase in serum and synovial fluid of patients with osteoarthritis. *Vet J* 2005;169:281–5. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.01.027>.
- [129] Vasikaran S, Eastell R, Bruyère O, Foldes AJ, Garnero P, Griesmacher A, et al. Markers of bone turnover for the prediction of fracture risk and monitoring of osteoporosis treatment: a need for international reference standards. *Osteoporos Int* 2011;22:391–420. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1501-1>.
- [130] Song L. Calcium and Bone Metabolism Indices. In: Makowski GS, editor. Chapter One - Advances in Clinical Chemistry, vol. 82, Elsevier; 2017, p. 1–46. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2017.06.005>.
- [131] Hintermeister JG, Jones PD, Hoffmann WE, Siegel AM, Dervisis NG, Kitchell BE. Measurement of serum carboxyterminal cross-linked telopeptide of type I collagen concentration in dogs with osteosarcoma. *American Journal of Veterinary Research* 2008;69:1481–6. <https://doi.org/10.2460/ajvr.69.11.1481>.
- [132] Lucas PW, Fan TM, Garrett LD, Griffon DJ, Wypij JM. A Comparison of Five Different Bone Resorption Markers in Osteosarcoma-Bearing Dogs, Normal Dogs, and Dogs with Orthopedic Diseases. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 2008;22:1008–13. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0134.x>.
- [133] Nikahval B, Nazifi S, Heidari F, Khafi MSA. Evaluation of the changes of P1NP and CTX in synovial fluid and blood serum of dogs with experimental osteoarthritis. *Comp Clin Pathol* 2016;25:559–63. <https://doi.org/10.1007/s00580-016-2229-x>.
- [134] Brookhart JM, Parmeggiani PL, Petersen WA, Stone SA. Postural stability in the dog. *American Journal of Physiology-Legacy Content* 1965;208:1047–57. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1965.208.6.1047>.
- [135] Onishi T, Inokuma H, Ohno K, Soeda S, Noguchi K, Sasaki K. C-reactive protein concentrations in normal and diseased dogs - measured by laser nephelometric immunoassay. *Journal of the Japan Veterinary Medical Association* 2000;53:595–601.
- [136] Frisbie DD, Al-Sobayil F, Billingham RC, Kawcak CE, McIlwraith CW. Changes in synovial fluid and serum biomarkers with exercise and early osteoarthritis in horses. *Osteoarthritis and Cartilage* 2008;16:1196–204. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2008.03.008>.

Annexes

Annexe 1 : Indices de condition corporelle chez les chiens d'après WSAVA 2013

Body Condition Score



1 **3**

UNDER IDEAL

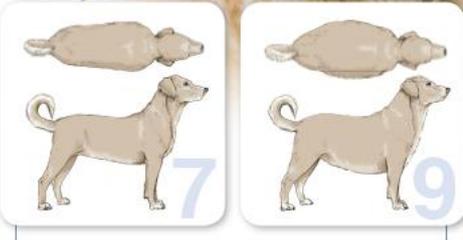
- 1 Ribs, lumbar vertebrae, pelvic bones and all bony prominences evident from a distance. No discernible body fat. Obvious loss of muscle mass.
- 2 Ribs, lumbar vertebrae and pelvic bones easily visible. No palpable fat. Some evidence of other bony prominences. Minimal loss of muscle mass.
- 3 Ribs easily palpated and may be visible with no palpable fat. Tops of lumbar vertebrae visible. Pelvic bones becoming prominent. Obvious waist and abdominal tuck.



5

IDEAL

- 4 Ribs easily palpable, with minimal fat covering. Waist easily noted, viewed from above. Abdominal tuck evident.
- 5 Ribs palpable without excess fat covering. Waist observed behind ribs when viewed from above. Abdomen tucked up when viewed from side.



7 **9**

OVER IDEAL

- 6 Ribs palpable with slight excess fat covering. Waist is discernible viewed from above but is not prominent. Abdominal tuck apparent.
- 7 Ribs palpable with difficulty; heavy fat cover. Noticeable fat deposits over lumbar area and base of tail. Waist absent or barely visible. Abdominal tuck may be present.
- 8 Ribs not palpable under very heavy fat cover, or palpable only with significant pressure. Heavy fat deposits over lumbar area and base of tail. Waist absent. No abdominal tuck. Obvious abdominal distention may be present.
- 9 Massive fat deposits over thorax, spine and base of tail. Waist and abdominal tuck absent. Fat deposits on neck and limbs. Obvious abdominal distention.

German A, et al. Comparison of a bioimpedance monitor with dual-energy x-ray absorptiometry for noninvasive estimation of percentage body fat in dogs. *AJVR* 2010;71:393-398.

Joustra L, et al. Effect of breed on body composition and comparison between various methods to estimate body composition in dogs. *Res Vet Sci* 2010;98:227-232.

Kelly RD, et al. Effects of diet restriction on life span and age-related changes in dogs. *JAMA* 2002;288:1315-1320.

Lafamme DP. Development and validation of a body condition score system for dogs. *Canine Pract* 1997;22:10-15.

©2013. All rights reserved.





Présentation du LOAD questionnaire

Comprendre,
administrer et intégrer
le LOAD dans la
pratique clinique

Administrer le questionnaire

Les propriétaires remplissent un questionnaire LOAD initial lors de la première visite et un questionnaire de suivi à chaque visite subséquente. Le questionnaire LOAD prend environ cinq minutes aux propriétaires à remplir et propose un moyen stable d'évaluer l'incidence de l'âge.

Les propriétaires et le questionnaire LOAD

Les propriétaires doivent être informés de la manière de remplir le questionnaire et tous les points de clarification doivent être résolus. Si des scores LOAD répétés sont obtenus par le même patient, celui-ci ne devrait pas avoir accès aux réponses ou scores précédents.

Les scores vont de 0 à 4, de gauche à droite dans la section Mobilité ; 0 représentant un animal en bonne santé et 4 représentant une maladie extrême/grave.

1. Sur la base de leurs expériences et observations, les propriétaires sélectionnent des réponses individuelles pour chaque question (les propriétaires ne doivent pas être conscients de la valeur numérique associée à chaque réponse dans la section de notation).
2. Une fois que le propriétaire a terminé, le questionnaire est retourné au personnel soignant traitant afin que le score correspondant puisse être inséré dans chaque case de droite – soit manuellement (version imprimée) soit automatiquement (version électronique) – (cela se produit lorsque le LOAD score bouton est sélectionné.)
3. Si vous remplissez le questionnaire imprimé, les scores des questions individuelles doivent ensuite être additionnées par le membre du personnel présent pour déterminer le LOAD score global. Le LOAD score global est inséré dans le case finale.

Le questionnaire Liverpool Osteoarthritis in Dogs (LOAD) est un instrument de métrologie Clinique (CMI) de 13 éléments utilisés pour évaluer les troubles articulaires canins comme l'arthrose. Les scores des questions individuelles sont additionnés pour fournir un « score de LOAD » global suggérant la présence et la gravité de la maladie de l'animal.



Interprétation des scores LOAD

Le LOAD score agrégé permet de déterminer la présence et la gravité des troubles articulaires ;



Le LOAD score n'est qu'une recommandation. Chaque patient doit être soigneusement évalué et examiné par un vétérinaire agréé et le diagnostic de troubles articulaires doit être confirmé. Les options de traitement – y compris les avantages et les risques de toutes modalités disponibles – doivent être soigneusement examinées et discutées avec les propriétaires pour déterminer le meilleur plan d'action.

Mise en œuvre du LOAD dans la pratique clinique

Les praticiens sont encouragés à utiliser le LOAD sur des cas cliniques individuels pour faciliter leur prise de décision et leur suivi clinique. Les applications de LOAD en pratique clinique générale pourraient inclure l'identification de l'arthrose chez les chiens présentés pour d'autres raisons, pour évaluer la gravité de la maladie au début du traitement et pour évaluer la réponse des patients à tout traitement mis en œuvre.

Envisagez les options d'administration du questionnaire suivantes :

Avant l'arrivée :

Envoyez par e-mail aux propriétaires une version PDF du LOAD, en leur demandant d'apporter une version imprimée et complétée pour leur visite. (la section "Propriétaires et le questionnaire LOAD" ci-dessus peuvent être utilisés au besoin dans les communications avec les propriétaires.) Les propriétaires peuvent également remplir la version PDF à la maison et renvoyer le questionnaire rempli par courrier électronique à la clinique.

A l'arrivée :

Demandez aux propriétaires de remplir une version imprimée ou électronique du LOAD. De cette façon, un historique clinique complet et reproductible peut être collecté avant le début de la consultation.

Pendant la consultation :

Préchargez la questionnaire LOAD sur un ordinateur ou une tablette en clinique. Cela permettra au vétérinaire/assistant vétérinaire de parcourir rapidement les questions ensemble et d'arriver à des résultats globaux.

¹ Muller C, Gaines B, Gruen M, Case B, Anufat K, Innes J and Lascelles BDX (2009). Evaluation of Clinical Metrology Instrument in Dogs with Osteoarthritis. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 30: 838-844

² Hercocok CA, Pinchbeck G, Giejda A, Clegg PD, and Innes JF (2009). Validation of a client-based clinical metrology instrument for the evaluation of canine elbow osteoarthritis. *Journal of Small Animal Practice* 50: 266-271

³ Walton MB, Cowderoy E, Lascelles D, and Innes JF (2013). Evaluation of Construct and Criterion Validity for the 'Liverpool Osteoarthritis in Dogs' (LOAD) Clinical metrology Instrument and Comparison to Two Other Instruments. *PLOS One* 8(3): e58125

Although every effort has been made to ensure the completeness and accuracy of the information provided herein, neither the University of Liverpool nor Elanco Animal Health assumes any responsibility for the completeness or accuracy of the information. ALL INFORMATION IS PROVIDED "AS IS" WITHOUT ANY WARRANTIES, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED.



Liverpool Osteoarthritis in Dogs (LOAD)

Questionnaire propriétaire pour chiens à mobilité réduite

Cher propriétaire,

Merci d'avoir accepté de remplir ce questionnaire.

Votre aide dans cette démarche permettra de recueillir des informations précieuses sur votre animal de compagnie, un élément essentiel dans notre quête de lutte contre les maladies douloureuses et débilatantes. Il est important que toutes les questions reçoivent la meilleure réponse. Si vous avez une question concernant le questionnaire, veuillez contacter un membre de votre clinique vétérinaire.

Merci encore pour votre aide.



Répondre aux questions

La plupart des questions sont assez simples. Il est important que vous ne cochiez qu'une seule case par question, sauf indication contraire (par exemple, la question 4 de la section Style de Vie)

Si vous avez le moindre doute sur la façon de répondre à une question particulière, veuillez contacter un membre du personnel pour obtenir de l'aide.

Nom du propriétaire :	Nom de l'animal :	
Numéro de téléphone :	Numéro du client :	Date du jour :
Race de l'animal :	Age de l'animal	Sexe : M <input type="radio"/> F <input type="radio"/>

Contexte médical

1. Depuis combien de temps votre animal souffre-t-il de son problème de mobilité ?

- Moins de 6 mois 6–12 mois 12–24 mois 24–36 mois Plus de 36 mois

2. Votre chien a -t-il été diagnostiqué comme souffrant d'autres problèmes en plus de sa maladie orthopédique ?

- Non Oui

Veuillez les lister si vous le pouvez :

3. Si vous le pouvez, veuillez énumérer tous les médicaments que votre animal reçoit actuellement, en indiquant quand il a reçu la dernière dose de chacun :

Mode de Vie

1. Au cours de la dernière semaine, en moyenne, à quelle distance votre chien a-t-il fait de l'exercice chaque jour ?

- 0-1 km 1-2 km 2-3 km 3-4 km plus de 4 km

2. Au cours de la dernière semaine, en moyenne, combien de promenade votre chien a-t-il fait par jour ?

- 0 1 2 3 4 plus de 4

3. De quel type d'exercice s'agit-il ?

- Toujours en laisse Principalement en laisse La plupart du temps sans laisse Toujours sans laisse Travail

4. Y a-t-il des jours particuliers de la semaine où votre chien fait beaucoup plus d'exercice ? (Cochez plus d'une case si nécessaire).

- Lundi Mardi Mercredi Jeudi Vendredi Samedi Dimanche

5. Sur quel type de terrain votre chien s'exerce-t-il le plus souvent ?

- Herbe à niveau En forêt Dans la rue Sur terrain accidenté

6. A l'exercice, comment est manipulé votre chien ?

- Marche en laisse Marche sans laisse Trot Court librement

7. Qui limite la mesure dans laquelle votre chien fait de l'exercice ?

- Vous Votre chien

Mobilité

Généralement

Usage internet seulement

1. Comment est la mobilité de votre chien en général ?

Très bonne Bonne Moyenne Faible Très faible

2. Dans quelle mesure votre chien est-il handicapé par sa boiterie ?

Pas du tout handicapé Légèrement handicapé Moyennement handicapé Sévèrement handicapé Extrêmement handicapé

3. A quel point votre chien est-il actif ?

Extrêmement actif Très actif Moyennement actif Peu actif Pas du tout actif

4. Quel est l'effet du temps froid et humide sur la boiterie de votre chien ?

Pas d'effet Effet léger Effet moyen Effet sévère Effet extrême

5. Dans quelle mesure votre chien présente-t-il une raideur dans la jambe affectée après un « allongement » ?

Pas de rigidité Légère rigidité Rigidité moyenne Rigidité sévère Rigidité extrême

A l'exercice

6. A l'exercice, à quel point votre chien est-il actif ?

Extrêmement actif Très actif Moyennement actif Pas très actif Pas du tout actif

7. Dans quelle mesure votre chien est-il intéressé pour faire de l'exercice ?

Extrêmement intéressé Très intéressé Moyennement intéressé Pas très intéressé Pas du tout intéressé

8. Comment évalueriez-vous la capacité de votre chien à faire de l'exercice ?

Très bonne Bonne Moyenne Faible Très faible

Usage internet
seulement

9. Quel effet global l'exercice a-t-il sur la boiterie de votre chien ?

Pas d'effet Effet léger Effet moyen Effet sévère Effet extrême

10. A quelle fréquence votre chien se repose-t-il (s'arrête/s'assoit) pendant l'exercice ?

Jamais Presque jamais Occasionnellement Fréquemment Très fréquemment

11. Quel est l'effet du temps froid et humide sur la capacité de votre animal à faire de l'exercice ?

Pas d'effet Effet léger Effet moyen Effet sévère Effet extrême

12. Dans quelle mesure votre chien présente-t-il une raideur dans la jambe affectée après un « allongement » après un exercice ?

Pas de rigidité Rigidité légère Rigidité modérée Rigidité sévère Extrême rigidité

13. Quel est l'effet de la boiterie de votre chien sur sa capacité à faire de l'exercice ?

Pas d'effet Effet léger Effet modéré Effet sévère Effet extrême

Merci encore une fois d'avoir rempli ce questionnaire.
Veuillez retourner le formulaire à un membre du personnel.

Usage internet seulement

Cliquer sur Score LOAD pour totaliser votre score.

La réinitialisation n'est pas disponible pour cette fonction.

Score LOAD



Although every effort has been made to ensure the completeness and accuracy of the information provided herein, neither the University of Liverpool nor Elanco Animal Health assumes any responsibility for the completeness or accuracy of the information. ALL INFORMATION IS PROVIDED 'AS IS' WITHOUT ANY WARRANTIES, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED.
Use of the LOAD questionnaire is subject to the terms of the Elanco Animal Health, a division of Eli Lilly and Company, LOAD license agreement



© 2017 Elanco Animal Health. Elanco® and the diagonal bar are all trademarks owned or licensed by Eli Lilly and Company, its subsidiaries or affiliates.
All material copyright of the University of Liverpool.
USCACNON02

Annexe 3 : Exemple d'une fiche de calcul de ration avec ajout du produit testé distribuée aux propriétaires

Calculs de rations avec ajout du complément alimentaire à évaluer

Animal :

- TISCA
- chienne beauceron stérilisée de 14 ans
- 31 kg

Croquettes actuelles : Proplan Joint Mobility - 300 g par jour (2 repas)

Composition des croquettes :

- humidité : 7,5%
- protéines : 30%
- teneur en graisses : 12%
- glucides : 41%
- cellulose brute : 2,5%
- Énergie Métabolisable (EM) : 3,72 kcal / gramme \Leftrightarrow 1116 kcal / jour

Produit à tester :

D'après le poids du chien et selon le tableau : 40 grammes / jour de farine

Composition du complément alimentaire :

- protéines : 60%
- glucides : 4,9%
- cendres brutes : 3,7%
- énergie : 520 kcal / 100 g de produit
 \Rightarrow besoin de 40 grammes / jour de farine \Leftrightarrow 208 kcal / jour

\Rightarrow Enlever 208 kcal de la ration de croquettes chaque jour, soit $208 / 3,72 = 56$ grammes

Calcul de la ration alimentaire quotidienne avec ajout du complément alimentaire :

$$\begin{array}{r} \text{Croquettes Joint Mobility : } 300 - 56 = 244 \text{ grammes} \\ + \\ \text{Produit à tester : } 40 \text{ grammes} \end{array}$$

Conseil : enlever 28 grammes de croquettes par repas ou 56 grammes par jour lors de la distribution de la farine

Annexe 4 : Fiches de scores NRS et VAS

ECHELLE DE SCORE DE BOITERIE	
SCORE	DESCRIPTION
<input type="checkbox"/> 0	Se tient debout et se déplace normalement
<input type="checkbox"/> 1	Décharge légère OU boiterie légère en marchant
<input type="checkbox"/> 2	Décharge modérée OU boiterie modérée lors de la marche
<input type="checkbox"/> 3	Décharge sévère OU boiterie sévère lors de la marche
<input type="checkbox"/> 4	Posture sur trois pattes OU démarche à trois pattes

ECHELLE DE SCORE DE DOULEUR	
SCORE	DESCRIPTION
<input type="checkbox"/> 0	Aucune réponse détectable à la palpation et à la manipulation du membre
<input type="checkbox"/> 1	Réponse légère à la palpation et à la manipulation, comme tourner la tête vers le membre.
<input type="checkbox"/> 2	Réponse modérée à la palpation et à la manipulation, telle que le retrait du membre.
<input type="checkbox"/> 3	Réponse douloureuse sévère à la palpation et à la manipulation, telle que le retrait du membre au moindre mouvement.
<input type="checkbox"/> 4	Ne permet pas la palpation ou la manipulation

VAS LAMENESS EVALUATION	
No lameness at all	Moderate lameness
lame	could not be more
VAS	___ %

Étude prospective évaluant la tolérance et l'efficacité d'un nutriment sur la reprise d'activité chez le chien âgé

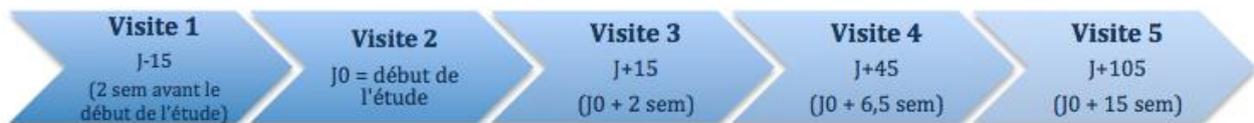
En quoi consiste l'étude : tester un **complément alimentaire** à base de farine d'insectes (IP) chez les **chiens âgés à activité physique réduite**, dans le but d'évaluer sa tolérance et son efficacité dans la reprise d'une activité physique.

Quel type de chien :

- chien âgé avec une activité physique réduite
- rentrant dans les caractéristiques définies par l'étude (poids, âge, état de santé, maladies concomitantes ...) → évalué lors de la visite 1
- interdiction de certains traitements utilisés jusqu'à présent contre les douleurs du chien âgé comme les corticostéroïdes, les morphiniques pendant la durée de l'étude

Durée de l'étude : 4 mois (date limite de la fin de l'étude en juin-juillet 2022)

Déroulement de l'étude :



Rôles du propriétaire :

- Distribuer quotidiennement dans la ration du chien un sachet contenant le complément alimentaire
- Venir à ONIRIS : 4 visites étalées sur 3,5 mois après la première visite de pré-inclusion
- Noter dans le cahier de suivi :
 - observance du nutriment tous les jours
 - quantité de nourriture ingérée quotidiennement et les changements éventuels
 - possibles effets indésirables
 - prises de traitements concomitants

Objectifs de l'étude : objectiver l'efficacité et la tolérance d'un complément alimentaire à base de farine d'insectes destiné aux chiens âgés présentant des douleurs dues à l'arthrose et ainsi améliorer leur confort de vie.

Détail des visites :

- **Visite 1 : recrutement** à J-15
 - Commémoratifs et anamnèse du patient
 - Examen clinique, pesée
 - Questionnaire LOAD (Liverpool Osteoarthritis in Dogs) → Score initial LOAD
 - Etablissement du score BCS (Body Condition Score)
 - Vérification des critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude
 - Evaluation du comportement du chien sur le tapis de marche
- **Visite 2 : inclusion dans l'étude** à J0 (+/- 15 jours)
 - Signature du consentement éclairé
 - Questionnaire LOAD → Score LOAD à J0
 - Score de BCS
 - Examen clinique général
 - Evaluation gériatrique :
 - examen sanguin, examen urinaire, collecte de sérum
 - examen locomoteur avec attribution de scores : NRS (Numerical Rating Scale) et VAS (Visual Analogue Scale)
 - mesure des mouvements sur tapis de marche à capteur de pression
 - Distribution d'un collier équipé de capteurs d'activité motrice pour évaluer l'activité à la maison : recueil de données sur l'intensité, la fréquence et la durée des mouvements quotidiens
 - Distribution d'un cahier de suivi
- **Visite 3 : détermination de l'activité motrice basale** à J+15 (+/- 2 jours)
 - Collecte de données du cahier, du collier d'activité
 - Questionnaire LOAD → Score LOAD J+15
 - Examen clinique, pesée
 - Scores : NRS, VAS
 - Mesure des mouvements sur tapis de marche
 - Distribution du complément alimentaire pour 1 mois
- **Visite 4 : visite de contrôle** à J+45 (+/- 4 jours)
 - Collecte de données du cahier, du collier d'activité
 - Questionnaire LOAD → Score LOAD J+45
 - Examen clinique, pesée
 - Examen du système locomoteur
 - Scores : NRS, VAS
 - Mesure des mouvements sur tapis de marche
 - Analyses : sanguine, urinaire, collecte de sérum
 - Distribution du complément alimentaire pour 2 mois
- **Visite 5 : fin de l'étude** à J+105 (+/- 4 jours)
 - Collecte de données du cahier, du collier d'activité
 - Questionnaire LOAD → Score LOAD J+105
 - Examen clinique, pesée → Score BCS
 - Examen du système locomoteur
 - Scores : NRS, VAS
 - Mesure des mouvements sur tapis roulant
 - Analyses : sanguine, urinaire, collecte de sérum

Mathilde NGUYEN DINH

**INTÉRÊT D'UN TAPIS D'ANALYSE DE LA MARCHE DANS L'ÉVALUATION D'UN
COMPLÉMENT ALIMENTAIRE CHEZ LE CHIEN ARTHROSIQUE ÂGÉ**

**INTEREST OF A GAIT ANALYSIS WALKWAY IN THE EVALUATION OF A FOOD
SUPPLEMENT IN ELDERLY DOGS WITH OSTEOARTHRITIS**

Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 13/11/2023

RÉSUMÉ :

La locomotion est étudiée depuis de nombreuses années par appréciation visuelle avant le développement d'instruments d'analyse. Les accéléromètres, les tapis à capteurs de pression et les plaques de force sont les principaux instruments d'analyse utilisés pour quantifier, objectiver la démarche et détecter une anomalie de celle-ci. L'obtention de données sur les paramètres spatio-temporels de la marche est utile en recherche ou en clinique, en particulier dans le domaine médical.

Dans un premier temps, une revue bibliographique des outils d'analyse de la marche en médecine vétérinaire puis en médecine humaine a été réalisée. Ensuite, une étude clinique portant sur l'évaluation d'un complément alimentaire destiné aux chiens âgés arthrosiques ainsi que les résultats obtenus ont été présentés. L'efficacité de la farine sur la reprise de l'activité dans la population ciblée ainsi que la tolérance de ce produit ont été déterminées par divers moyens comprenant une analyse de la marche grâce à un tapis à capteurs de pression.

MOTS CLÉS :

- TAPIS DE MARCHE
- DÉMARCHE
- CHIEN ÂGÉ
- ARTHROSE
- COMPLÉMENT ALIMENTAIRE

DATE DE SOUTENANCE : 13 novembre 2023