



HAL
open science

Utilisation de la thermographie lors d'affections ostéo-articulaires sur les chiens de traîneaux lors de la grande odyssée 2021 : étude expérimentale

Émilie Laur

► **To cite this version:**

Émilie Laur. Utilisation de la thermographie lors d'affections ostéo-articulaires sur les chiens de traîneaux lors de la grande odyssée 2021 : étude expérimentale. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03921833

HAL Id: dumas-03921833

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03921833v1>

Submitted on 4 Jan 2023

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.

UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE LORS D’AFFECTIONS OSTEO-ARTICULAIRES SUR LES CHIENS DE TRINEAUX LORS DE LA GRANDE ODYSSEE 2021 : ETUDE EXPERIMENTALE

THESE D’EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D’ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l’Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

LAUR Emilie, Lucie, Anne

Directrice de thèse : Mme Caroline DIDIER

JURY

PRESIDENT :
M. Christian VIRENQUE

Professeur à l’Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEURES :
Mme Caroline DIDIER
Mme Géraldine JOURDAN

Ingénieure de Recherche à l’Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l’Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*

REMERCIEMENTS :

A notre jury de thèse :

A Monsieur le Professeur Christian VIRENQUE,

Professeur honoraire des Universités Paul Sabatier de Toulouse, Praticien hospitalier

Anesthésiologie

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de thèse. Mes remerciements et hommages respectueux.

A Madame le Docteur Géraldine JOURDAN,

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Anesthésie – Analgésie

Qui nous fait l'honneur d'accepter l'assessorat de cette thèse. Qu'elle lise ici l'expression de mes sincères remerciements.

A Madame le Docteur Caroline DIDIER

Ingénieur de Recherche et Praticienne Hospitalière à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Anesthésie – Analgésie

Qui nous fait l'honneur de diriger cette thèse. Qu'elle lise ici l'expression de ma profonde gratitude pour son soutien durant ce travail, sa bienveillance et sa gentillesse.

A l'équipe vétérinaire de La Grande Odysée 2021, pour son accueil et sa disponibilité lors de la réalisation de mes mesures. Que toute l'équipe trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.

A Monsieur Victor Duvinage, ingénieur en informatique et développeur, pour son aide précieuse, sa disponibilité et sa gentillesse. Remerciements chaleureux.

Table des matières

Table des figures.....	10
Table des tableaux.....	11
Table des annexes	11
Lexique	12
INTRODUCTION	13
PREMIERE PARTIE – SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET RAPPELS THÉORIQUES.....	15
1. Pratique sportive et conséquences ostéo-articulaires chez le chien	15
1.1 Rappels d’anatomie et affections ostéo-articulaires.....	16
1.1.1 Anatomie des membres thoraciques et pelviens.....	16
1.1.2 Anatomie des articulations thoraciques et pelviennes	17
1.1.3 Mouvements des articulations synoviales	19
1.1.4 Principales atteintes ostéo articulaires des membres	20
1.1.4.1 Les entorses.....	20
1.1.4.2 Les luxations	22
1.1.4.3 L’arthrose.....	22
1.1.4.4 Les tendinites.....	22
1.1.5 Détection des lésions.....	23
1.1.5.1 Signes cliniques.....	23
1.1.6 Méthodes diagnostiques des boiteries ostéo-articulaires	24
1.1.6.1 Examen clinique.....	24
1.1.6.2 Imagerie.....	25
1.1.7 Etiologies des boiteries d’origine ostéo-articulaires	25
1.2 Affections ostéo articulaires décrites chez le chien d’utilité.....	27
1.2.1 Chiens de course	27
1.2.2 Chiens de travail	28
1.2.3 Chien de loisirs.....	29
1.2.4 Chiens de traîneau.....	30
1.3 Facteur de risque d’apparition de ces affections ostéo-articulaires.....	31
1.3.1 Facteurs intrinsèques	31
1.3.2 Facteurs extrinsèques.....	33
2. La thermographie : principes et intérêts médicaux	34
2.1 Thermographie et thermorégulation	34
2.1.1 Définition et concepts de base.....	34
2.1.2 Thermorégulation et facteurs de variations thermiques	35

2.1.3	Variations thermiques dans le cas de l'inflammation	36
2.2	Applications en médecine vétérinaire.....	37
2.2.1	Applications en orthopédie	37
2.2.2	Applications en infectiologie	38
2.2.3	Applications en reproduction	38
2.2.4	Applications en médecine interne.....	39
2.2.5	Applications en oncologie	39
2.3	Avantages et inconvénients	40
2.4	Principales conclusions de l'étude menée lors de La Grande Odyssée 2020.....	42
3.	La Grande Odyssée : une course de chien de traineau dans les Alpes	43
3.1	L'évènement et son organisation	43
3.2	Le chien de traineau, athlète à part entière.....	43
3.2.1	Les races de chiens	43
3.2.2	Attelage et performance	44
3.3	Une équipe vétérinaire dédiée.....	45
3.3.1	Missions et organisation.....	45
3.3.2	Le règlement et la santé animale	46
3.3.3	La médecine vétérinaire sur le terrain	46
	DEUXIEME PARTIE – ETUDE EXPERIMENTALE.....	48
	Introduction et objectifs de l'étude	48
	PARTIE A : Acceptabilité du logiciel MatLab.....	49
1.	Contexte et objectif.....	49
2.	Matériel et méthode	49
2.1	Population contrôle.....	49
2.1.1	Critères d'inclusion	49
2.1.2	Critères d'exclusion	50
2.1.3	Commémoratifs des individus	50
2.2	Matériel nécessaire à la réalisation des clichés : caméra et réglages.....	50
2.3	Méthode	52
2.3.1	Acquisition des images	52
2.3.2	Traitement des images	52
2.3.3	Comparaison des deux méthodes et statistiques	54
3.	Résultats	55
3.1	Données démographiques	55
3.2	Acceptabilité du logiciel MatLab	55
3.2.1	Comparaison des températures obtenues par articulation et par méthode.....	56

3.2.2	Corrélation entre les deux méthodes.....	58
3.2.3	Comparaison par la méthode de Bland-Altman.....	59
4.	Discussion et conclusion.....	61
PARTIE B : Etude thermographique des articulations des chiens de traîneaux de la Grande Odysée		
Savoie Montblanc 2021.....		
1.	Objectifs de l'étude	62
2.	Matériel et méthode	62
2.1	Population course.....	62
2.1.1	Critères d'inclusion	62
2.1.2	Critères d'exclusion	63
2.1.3	Commémoratifs des individus.....	63
2.2	Matériel nécessaire à la réalisation des clichés : caméra et réglages.....	64
2.3	Méthode	64
2.3.1	Examens clinique, orthopédique et suivis.....	64
2.3.2	Acquisition des images	64
2.3.3	Traitement des images	65
2.3.4	Traitement des données, paramètres mesurés et comparés	66
2.3.4.1	Traitement des températures brutes.....	66
2.3.4.2	Traitement des différences de températures entre membre lésé et membre contro-latéral.....	66
2.3.4.3	Statistiques	67
3.	Résultats.....	68
3.1	Données démographiques	68
3.1.1	Commémoratifs.....	68
3.1.2	Examen clinique.....	68
3.1.3	Examen orthopédique	68
3.1.4	Suivis, examens complémentaires et traitements mis en place	69
3.2	Températures brutes à J0.....	70
3.2.1	Statistiques descriptives.....	70
3.2.2	Comparaison des températures moyennes entre membre lésé et son controlatéral 72	
3.2.2.1	Toute articulation confondue.....	72
3.2.2.2	Par articulation	72
3.3	Différences de températures moyennes à J0.....	73
3.3.1	Statistiques descriptives.....	73
3.3.2	Comparaison des Diff(Tmoy) des articulations lésée, proximales et distales.....	74
3.3.2.1	Comparaison par orientation	74

3.3.2.1.1	Vue craniale vs. vue caudale vs. vue latérale	74
3.3.2.1.2	Vue de face vs. vue de profil	75
3.3.2.2	Par articulation toutes vues confondues.....	75
3.3.2.3	Par localisation	76
3.3.2.3.1	Sur la population globale.....	76
3.3.2.3.2	Par articulation	77
3.3.2.3.3	Comparaison sur la sous-population de lésions du carpe.....	77
4.	Discussion, limites de l'étude et conclusions	77
4.1	Examen clinique et orthopédique	77
4.2	Suivis au cours de la compétition.....	78
4.3	Températures brutes et différences des températures moyennes	79
4.4	Limites de l'étude expérimentale et améliorations proposées :.....	81
4.4.1	Conditions environnementales d'acquisition des clichés	81
4.4.2	Variations dû aux individus et aux lésions.....	81
5.	Conclusion	83
	CONCLUSION	84
	BIBLIOGRAPHIE.....	86
	ANNEXES.....	93

Table des figures

<i>Figure 1 : Schéma du squelette axial et appendiculaire du chien.</i>	16
<i>Figure 2 : Schéma du membre chiridien</i>	17
<i>Figure 3 : Schéma de l'articulation synoviale</i>	18
<i>Figure 4 : Schéma d'articulation du coude vue médiale.</i>	19
<i>Figure 5 : Force exercée sur l'articulation, provoquant de multiples dommages</i>	21
<i>Figure 6 : Les degrés d'entorse</i>	21
<i>Figure 7 : Les aplombs du chien</i>	26
<i>Figure 8 : Spectre électromagnétique</i>	34
<i>Figure 9 : Schéma d'organisation d'un attelage de chien de traineau</i>	44
<i>Figure 10 : Caméra thermique utilisée et sa description</i>	51
<i>Figure 11 : Exemple d'image thermique d'un carpe gauche vue latérale</i>	51
<i>Figure 12 : Exemple de résultat visualisé après analyse MatLab.</i>	53
<i>Figure 13 : Exemple d'une partie du tableau regroupant l'ensemble des températures de surface relevées pour chaque articulation et chaque orientation des chiens tests (°C)</i>	53
<i>Figure 14 : Exemple de résultat visualisé après analyse avec le logiciel GRAYESS IRT</i>	54
<i>Figure 15 : Représentation graphique des températures de surface (moyenne \pm écart-type) des articulations du carpe et de la main du membre thoracique chez 8 chiens sains obtenue par les logiciels GRAYESS IRT et Matlab</i>	56
<i>Figure 16 : Représentation graphique des températures de surface (moyenne \pm écart-type) des articulations du tarse et du pied du membre thoracique chez 8 chiens sains obtenue par les logiciels GRAYESS IRT et Matlab</i>	56
<i>Figure 17: Relation entre les températures minimales obtenues par le logiciel Matlab et celles obtenues par le logiciel GRAYESS IRT</i>	58
<i>Figure 18: Relation entre les températures moyennes obtenues par le logiciel Matlab et celles obtenues par le logiciel GRAYESS IRT</i>	58
<i>Figure 19: Relation entre les températures maximales obtenues par le logiciel Matlab et celles obtenues par le logiciel GRAYESS IRT</i>	59
<i>Figure 20: Comparaison des températures minimales du logiciel GRAYESS IRT et du logiciel Matlab par la méthode de Bland-Altman</i>	60
<i>Figure 21: Comparaison des températures moyennes du logiciel GRAYESS IRT et du logiciel Matlab par la méthode de Bland-Altman</i>	60
<i>Figure 22 : Comparaison des températures maximales du logiciel GRAYESS IRT et du logiciel Matlab par la méthode de Bland-Altman</i>	61
<i>Figure 23 : Exemple de relevé complet mis en format Excel des températures pour un chien avec une lésion au carpe droit (°C).</i>	66
<i>Figure 24 : Représentation graphique des températures de surfaces (moyennes \pm écart-type) du membre sain par vue, à J0 (°C).</i>	70
<i>Figure 25 : Représentation graphique des températures de surfaces (moyennes \pm écart-type) du membre lésé par vue, à J0 (°C).</i>	71
<i>Figure 26 : Représentation graphique des températures de surfaces (moyennes \pm écart-type) de la comparaison entre membre lésé et son controlatéral, toute articulation confondue à J0 (°C).</i>	72
<i>Figure 27 : Représentation graphique des différences de températures de surfaces (avec moyennes \pm écart-type) des articulations lésées, distales et proximales par vue, à J0.</i>	74

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Température (moyenne ± écart-type) du carpe en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).</i>	57
<i>Tableau 2 : Température (moyenne ± écart-type) de la main en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).</i>	57
<i>Tableau 3 : Température (moyenne ± écart-type) du pied en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).</i>	57
<i>Tableau 4 : Température (moyenne ± écart-type) du tarse en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).</i>	57
<i>Tableau 5 : Températures de surface moyennes (moyennes ± écart-types) du membre lésé par vue à J0.</i>	71
<i>Tableau 6 : Températures de surface moyennes (moyennes ± écart-types) du membre sain par vue à J0.</i>	71
<i>Tableau 7 : Températures de surface moyennes des articulations lésée distale et proximale du membre du coté lésé et de son controlatéral (moyenne ± écart-type) à J0 (°C).</i>	73
<i>Tableau 8 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0 (°C).</i>	74
<i>Tableau 9 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0 (°C).</i>	75
<i>Tableau 10 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0.</i>	75
<i>Tableau 11 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0.</i>	76

Table des annexes

<i>Annexe 1 : Planning de course de La Grande Odyssée 2021</i>	93
<i>Annexe 2 : Commémoratifs des chiens contrôles</i>	94
<i>Annexe 3 : Caractéristiques techniques de la caméra thermique utilisée</i>	95
<i>Annexe 4 : Conditions des clichés des chiens de course</i>	96
<i>Annexe 5 : Conditions météorologiques durant la compétition</i>	98
<i>Annexe 6 : Commémoratifs des chiens de course</i>	99
<i>Annexe 7 : Evaluation de la douleur chez le chien</i>	100
<i>Annexe 8 : Fiche d'examen orthopédique</i>	101
<i>Annexe 9 : Examen orthopédique des chiens course</i>	102
<i>Annexe 10 : Examen complémentaire et traitement des chiens de course</i>	103
<i>Annexe 11 : Images constituant un thermogramme de carpe (partie carpe seulement)</i>	104

Lexique

Musher = meneur de chien qui pilote l'attelage et le traineau à neige, tiré par les chiens

Handler = membre de l'équipe d'attelage qui aide le musher pour les soins des chiens, l'entretien du matériel et la mise en place des chiens sur la ligne de départ

Will to go = l'envie d'avancer, d'aller de l'avant durant la course

Trophée = course plus courte que la course principale (3 jours) se déroulant sur la même piste que la course principale

Agility = sport canin dans lequel le chien évolue sur un parcours d'obstacle sous la conduite de son maître

Canicross = sport canin consistant à une course, le maître étant relié à son ou ses chiens

Cavage = recherche de la truffe

INTRODUCTION

Le chien est le compagnon de l'homme depuis plus de 4000 ans. De nos jours, il partage les loisirs et les sports de son maître au quotidien. Il tend même ces dernières années à être au centre de l'activité sportive, à tel point qu'il doit dans ce contexte être considéré comme un athlète de haut niveau.

Les chiens de traineau font partie de cette catégorie, pouvant être amenés à parcourir plusieurs centaines de kilomètres sur plusieurs jours, ce qui nécessite une préparation et une condition physique irréprochables. Les efforts dans une telle discipline sollicitent particulièrement les articulations et sont sources de diverses lésions ostéo-articulaires. De fait, les maîtres et les vétérinaires qui les entourent se doivent de préserver leur santé et de leur prodiguer des soins adaptés à leurs performances sportives.

La Grande Odyssée fait partie des courses de chiens de traineau les plus exigeantes au monde. Elle se déroule au cœur des Alpes françaises avec des conditions météorologiques et de terrain très variables, parfois extrêmes. Exercer la médecine vétérinaire dans ce contexte est un défi à part entière. L'équipe vétérinaire sur place est formée à ces difficultés techniques, et le matériel médical est adapté au mieux pour répondre aux besoins des patients sur le terrain.

Or, certains appareils d'imagerie, tel que la radiographie et l'échographie, pourtant essentiels dans le suivi d'affections du chien sportif, sont difficiles à utiliser dans de telles conditions. C'est ce qui nous a amené à envisager le recours à une technique d'imagerie particulière, bien moins répandue dans la pratique mais prometteuse : l'imagerie thermique par infrarouge. Déjà utilisée chez l'homme et bien développée en médecine vétérinaire équine, elle présente des avantages non négligeables : légère, pratique et résistante, la caméra thermique est un outil qui semble être adapté à la détection de lésions lors d'une compétition en montagne.

L'étude de l'utilisation de la thermographie en condition de course de chiens de traineau a déjà été initiée, notamment par une étudiante vétérinaire dans le cadre de sa thèse d'exercice vétérinaire lors de l'édition 2020 et a démontré notamment sa faisabilité et sa praticité dans ces conditions de course (Fauquet 2020).

Notre étude, réalisée au cours de La Grande Odyssée 2021, s'inscrit dans la continuité de son travail. Dans une première partie bibliographique, nous nous intéresserons d'abord au sport canin et à ses conséquences ostéo-articulaires, puis ferons des rappels théoriques sur le principe et les intérêts de la thermographie, et décrirons enfin en quoi la compétition de La Grande Odyssée est une course

unique. Dans une seconde partie, nous présenterons l'étude expérimentale réalisée, qui a pour principal objectif de déterminer si l'imagerie thermique par infrarouge est un outil diagnostique pertinent lors d'atteinte ostéo-articulaire durant une course de chien de traîneau.

PREMIERE PARTIE – SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET RAPPELS THÉORIQUES

1. Pratique sportive et conséquences ostéo-articulaires chez le chien

Si le chien est dans la très grande majorité des cas un animal de compagnie, intégré au sein du foyer, avec qui on partage promenades voire courses à pied ou balades à vélo, il est depuis quelques années devenu le partenaire indispensable, voire même l'athlète principal de certains sports : agility, cani-cross, cani-VTT, flyball, ring, frisbee, obéissance, cavage ... Nombreuses sont les activités sportives où le chien est à l'honneur. De plus en plus populaires, ces sports canins se sont diversifiés et leur pratique a fortement augmenté ces dernières années.

Pourtant, le chien de sport existe depuis le 1^{er} siècle avant J-C lorsque dans l'Empire Romain, le lévrier Greyhound participe à des compétitions en courant derrière du gibier (Grandjean 2002). D'abord présentes en Angleterre, les courses de lévriers se répandent dans tous les pays Anglo-saxons dans les années 1860-1880. Ce n'est qu'en 1928 qu'apparaît la première course de chien de vitesse en France.

Sur la neige également, le chien s'avère être un sportif tout à fait compétitif, notamment lors de courses de chiens de traîneaux dont la toute première, la « All Alaska Sweeptake » a eu lieu en Alaska en 1908 (Grandjean 2002). Depuis, ces compétitions se sont multipliées, avec des chiens et des mushers atteignant des niveaux de performance toujours plus élevés.

Dès lors considérés comme sportifs de haut niveau, les chiens sont entraînés tout au long de l'année, et effectuent des efforts physiques considérables. Par conséquent, tout comme chez le sportif professionnel humain, le chien sportif s'expose à des affections spécifiques, dû à des sollicitations régulières et intenses de l'ensemble du corps. L'appareil cardio respiratoire, l'appareil digestif, mais surtout le système musculo-squelettique doivent s'adapter pour répondre aux besoins de l'exercice physique et obtenir les performances souhaitées.

Ces différentes affections ont fait l'objet de nombreuses études et thèses vétérinaires (Rebert 2010; Fauquet 2020; Sigogneau 2019; von Pfeil et al. 2015, Calogiuri, Weydahl 2017), c'est pourquoi dans l'étude qui suit, nous nous concentrerons sur les affections ostéo-articulaires que présentent les chiens de sport, objet de ce travail de thèse.

1.1 Rappels d'anatomie et affections ostéo-articulaires

Le squelette du chien est composé de deux grandes parties : le squelette axial (crâne, colonne, thorax) et le squelette appendiculaire (membres thoraciques et membres pelviens) (figure 1).

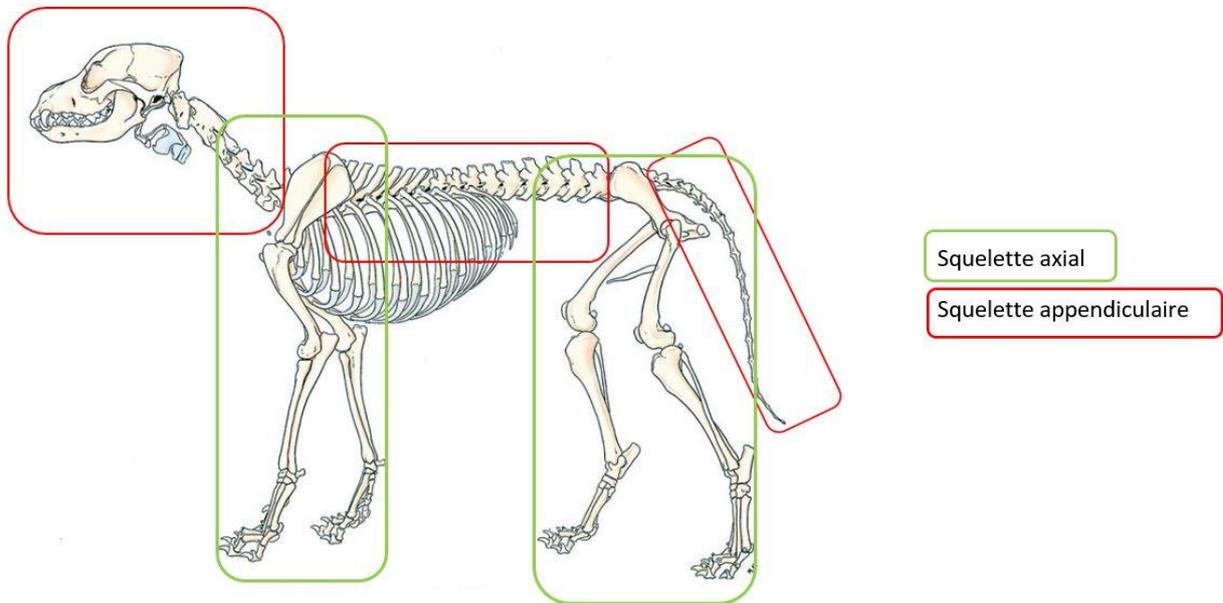


Figure 1 : Schéma du squelette axial et appendiculaire du chien

Source : *Miller's anatomy of the dog. Fourth edition. EVANS, Howard E. et MILLER, Malcolm E., 2013.*

Nombreuses affections ostéo-articulaires rencontrées chez les chiens de sport sont localisées sur le squelette appendiculaire (A. L. Palmer et al. 2021). Nous allons donc nous concentrer sur l'anatomie des membres, et plus particulièrement des articulations qui les composent.

1.1.1 Anatomie des membres thoraciques et pelviens

Les membres thoraciques et pelviens sont bâtis selon la même architecture : ce sont des membres chiridiens. En effet, ils sont composés de 4 segments : la ceinture, le stylopode, le zeugopode et l'autopode, comme l'illustre le schéma ci-dessous (figure 2). De plus, les chiens sont des animaux dits digitigrades : seuls les doigts reposent au sol, les métatarses et les métacarpes restant relevés.

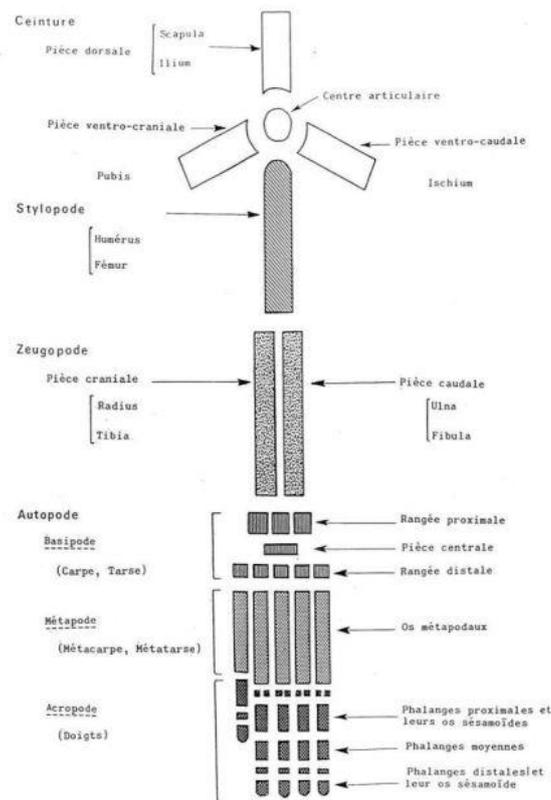


Figure 2 : Schéma du membre chéridien

Source : Cours d'anatomie du Pr. G. MOGICATO, ENVT

1.1.2 Anatomie des articulations thoraciques et pelviennes

Les articulations sont formées lorsque deux ou plusieurs os sont unis par un tissu fibreux, élastique ou cartilagineux, ou par une combinaison de ces tissus (Evans, Miller 2013). Il existe 3 types d'articulations : les articulations fibreuses, cartilagineuses, et synoviales. Les premières sont quasiment immobiles, et sont le plus souvent présentes au niveau de la tête ; elles ne seront pas donc plus étudiées ici. Les articulations cartilagineuses elles, sont semi-mobiles, et sont présentes dans le squelette axial (tronc et vertèbres). Essentielles dans le mouvement, elles sont fortement sollicitées pendant l'effort et peuvent être à l'origine de boiteries mais dans cette étude, nous nous concentrons sur les atteintes ostéo-articulaires des membres thoraciques et pelviens dont les articulations sont synoviales. Toutes sont composées d'une cavité articulaire, d'une capsule articulaire, le liquide synovial et de cartilage articulaire, comme l'illustre la figure 3 ci-dessous. Ainsi séparées par une cavité remplie de liquide, les surfaces articulaires vont pouvoir glisser aisément, et ainsi être très mobiles.

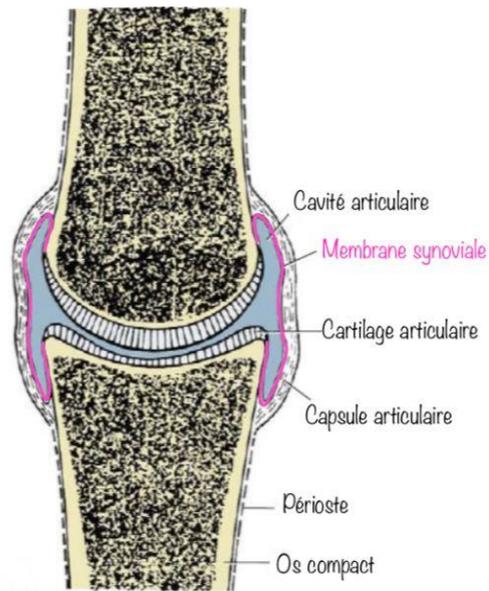


Figure 3 : Schéma de l'articulation synoviale
 Source : Cours d'anatomie du Pr. Mogenicato, ENVT

La capsule articulaire est composée d'une membrane synoviale interne et d'une membrane fibreuse externe. La membrane synoviale interne, qui tapisse intégralement la surface interne de la capsule, est également responsable de la production du liquide synovial. La membrane fibreuse externe est aussi appelée ligament capsulaire. La membrane fibreuse s'attache alors au cartilage articulaire ou au périoste.

Le liquide synovial a pour fonction principale de lubrifier les surfaces cartilagineuses de contact des articulations synoviales, mais également d'apporter des substances nutritives au cartilage articulaire, dépourvu de vascularisation, et d'en éliminer les déchets métaboliques. Le plus souvent hyalin, ce dernier recouvre les surfaces articulaires, ne contient ni nerfs ni vaisseaux, mais possède une certaine capacité de cicatrisation, bien que limitée, en cas de lésion. Son épaisseur dans une articulation est directement liée au poids supporté par l'articulation. Il permet d'éviter les fractures en absorbant les chocs, jouant le rôle d'amortisseur. Il peut perdre son épaisseur sous la charge imposée, et reprendre cette épaisseur initiale par la suite mais peut s'atrophier en cas de non utilisation. Cela est rendu possible par l'élasticité du cartilage ainsi qu'un échange d'eau entre intérieur et extérieur.

L'articulation du grasset possède la particularité d'avoir deux ménisques incomplets, permettant à toutes les parties de la cavité articulaire de communiquer entre elles. Ces ménisques sont des plaques fibrocartilagineuses, peu irriguées de nerfs et de sang, mais pouvant se régénérer.

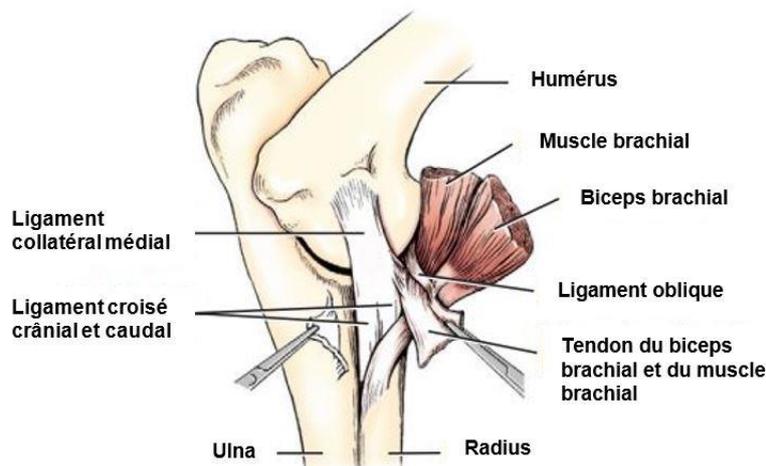
Les ligaments sont des bandes de fibres de collagène qui permettent d'unir deux ou plusieurs os. Ils peuvent être intra-articulaires comme dans l'articulation du grasset ou de la hanche, mais la plupart sont extra-articulaires. Ce sont la plupart du temps des épaissements de la partie fibreuse

de la capsule, même s'ils peuvent parfois être bien distincts, comme le ligament rotulien. Dans les articulations où de grands mouvements se produisent dans un plan unique, la membrane fibreuse est généralement fine et lâche sur les surfaces de flexion et d'extension, et épaisse sur les côtés de l'os qui bougent le moins. De tels épaissements de la couche fibreuse sont connus sous le nom de ligaments collatéraux. Plus l'articulation a des mouvements amples, plus les ligaments vont être longs.

Les tendons eux, unissent les muscles aux os.

L'intégrité des articulations peut être assurée par les ligaments mais aussi les muscles et les tendons, alors qualifiés de « ligaments actifs ». Les ligaments extra articulaires permettent de limiter la mobilité latérale, l'ouverture ou le glissement de l'articulation.

Un schéma détaillé de l'articulation du coude afin d'illustrer les structures évoquées est présenté ci-dessous (figure 4).



*Figure 4 : Schéma d'articulation du coude vue médiale
Source : modifié de Evans, Miller 2013*

1.1.3 Mouvements des articulations synoviales

Composés d'articulations synoviales, les membres sont donc capables d'effectuer de nombreux mouvements. On distingue 6 mouvements principaux :

- la flexion : elle correspond au « pliage » du membre, et donc à la diminution d'un angle entre l'os distal et l'os proximal (moins de 180 °)
- l'extension : elle correspond au « dépliage » et donc au retour à un angle à 180 ° entre l'os proximal et l'os distal. L'extension au-delà de 180° est appelé hyper-extension
- l'adduction : elle rapproche le membre vers le plan médian de l'animal
- l'abduction : elle éloigne le membre du plan médian de l'animal

- la pronation : elle permet la rotation médiale du membre de façon à ce que la face palmaire ou plantaire soit orientée ventralement
- la supination : elle permet la rotation latérale du membre de façon à ce que la face palmaire ou plantaire se dirige vers le plan médian

Ces mouvements sont généralement initiés par la contraction musculaire volontaire située aux alentours de l'articulation. Il existe également des mouvements articulaires provoqués par la gravité, secondaire à un autre mouvement articulaire ou encore provoqués par une force externe. Ce sont des mouvements passifs.

1.1.4 Principales atteintes ostéo articulaires des membres

De nombreuses affections ostéo-articulaires existent chez les carnivores domestiques. Dans un souci de clarté, seules les plus fréquemment rencontrées en contexte sportif seront détaillées ci-après.

On distingue les traumatismes fermés, sans rupture de la capsule articulaire ni effraction cutanée, des traumatismes ouverts qui présentent une solution de continuité entre l'extérieur et l'intérieur de la capsule articulaire (Grandjean 2002).

Bien que fréquentes à l'effort, les lésions musculo-tendineuses, telles que courbatures, crampes, contractures, claquages, élongations, ou encore ruptures musculaires, ne seront pas détaillées ici. Or les signes cliniques peuvent être très proches des atteintes ostéo-articulaires, et nous verrons dans la partie expérimentale que leur distinction s'avère parfois compliquée.

1.1.4.1 Les entorses

Une entorse est une affection articulaire de nature traumatique qui se caractérise par des lésions ligamentaires et/ou capsulaire, et provoque une perte temporaire de l'organisation physiologique de l'articulation. Elle a pour origine soit un mouvement anormal exagéré, qui dépasse les limites physiologiques, telle une extension forcée par exemple, soit un mouvement anormal dans une position non anatomique, ce qui va exercer une contrainte physique sur les moyens d'union de l'articulation. On distingue 4 types d'entorses (figure 5) en fonction de l'atteinte ligamentaire présente :

- Entorse de 1^{er} degré : lésion longitudinale des fibres du ligament avec peu de fibres rompues. Un hématome se crée au sein du ligament. Il n'y a pas de perte de fonction ou de résistance du ligament, la stabilité articulaire est conservée, et l'évolution est favorable.
- Entorse de 2^{ème} degré : rupture partielle des fibres ligamentaires. Un hématome se crée au sein du ligament et s'évacue par l'extérieur. Il y a une diminution de la résistance du ligament et une légère instabilité de l'articulation peut être perçue.
- Entorse de 3^{ème} degré : rupture complète de toutes les fibres du ligament en transversal. L'hématome n'est pas contenu dans le ligament. Il y a une forte instabilité de l'articulation et des signes cliniques associés.
- Entorse de 4^{ème} degré : rupture d'une ou des deux attaches osseuses du ligament.

Les lésions ligamentaires peuvent s'accompagner d'autres atteintes : les forces exercées peuvent écraser le cartilage articulaire, provoquer la rupture capsulaire à l'opposé, ou encore engendrer une hémarthrose (hémorragie synoviale). En périphérie, des lésions des tissus mous tels que les muscles et les tendons peuvent également apparaître (figure 6).

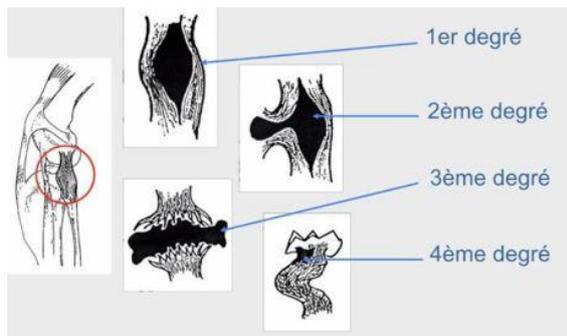


Figure 6 : Les degrés d'entorse
Source : Cours de Chirurgie du Dr. D. MATON, ENVT

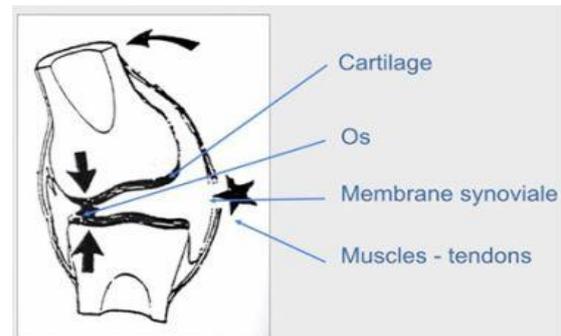


Figure 5 : Force exercée sur l'articulation, provoquant de multiples dommages
Source : Cours de Chirurgie du Dr. MATON, ENVT

Suite à une entorse, un syndrome inflammatoire localisé va se mettre en place au sein et autour de l'articulation lésée : c'est une péri-arthrite.

L'une des entorses plus fréquentes chez le chien est une entorse du grasset, avec la rupture du ligament croisé crânial. Chez le chien de traîneau notamment, les carpes sont fréquemment atteints (von Pfeil et al. 2015).

1.1.4.2 Les luxations

Une luxation correspond à un déplacement dans une position non anatomique des os composant une articulation. Elle peut être complète (perte totale de contact articulaire) ou incomplète, réductible ou non, coercible ou non, permanente ou intermittente. Elle s'accompagne parfois de lésions articulaires telles qu'une rupture de la capsule articulaire, des ligaments, de la membrane synoviale, de fractures intra-articulaires ... et est très souvent associée à des lésions des tissus péri-articulaires, notamment inflammatoires.

Le membre n'est alors plus fonctionnel : il y a une boiterie, une douleur à la palpation, on voit apparaître une déformation en regard de l'articulation pouvant être associée à une angulation non physiologique du membre.

1.1.4.3 L'arthrose

L'arthrose, ou arthropathie dégénérative, est une maladie chronique qui provoque des modifications de la chondrogenèse et de la chondrolyse d'une articulation : le renouvellement et la destruction du cartilage se trouvent déséquilibrés, provoquant des lésions et une inflammation de l'articulation. En effet, on observe notamment une diminution de la résistance mécanique du cartilage, une altération du liquide synovial, une inflammation de la membrane synoviale et de la capsule articulaire, voire de l'hémarthrose suite à une abrasion de l'os sous chondral dans les cas les plus sévères. C'est une affection qui évolue par phases, alternant entre des épisodes aigus et des épisodes plus discrets. Elle atteint généralement plutôt les animaux âgés puisque c'est une maladie dégénérative, mais les contraintes mécaniques anormalement élevées et fréquentes, comme c'est le cas chez les chiens de sport, semblent favoriser l'apparition d'arthrose (Worth et al. 2013).

Le pronostic pour le travail du chien est donc extrêmement réservé, car l'évolution tend toujours vers l'aggravation des lésions.

1.1.4.4 Les tendinites

La tendinite n'est pas une véritable atteinte ostéo-articulaire en tant que telle, mais plutôt une atteinte musculo-squelettique. En effet, un tendon est une structure fibreuse et élastique qui relie un muscle (via la jonction musculo-tendineuse) à un os (via l'enthèse). Les articulations sont entourées de nombreux tendons, et ils participent au maintien de la stabilité de nombreuses articulations. Par

conséquent, lorsqu'une instabilité articulaire apparaît, des lésions tendineuses peuvent être soit à l'origine de cette lésion, soit en être une conséquence. La tendinite correspond à l'inflammation d'un tendon. Elle peut être dû à un effort trop violent, ou à une répétition exagérée d'un même mouvement.

Une nouvelle fois, les signes cliniques sont très similaires à une atteinte ostéo-articulaire vraie, avec notamment la présence de chaleur, douleur, gonflement, boiterie etc. Ce sont donc les examens complémentaires qui vont nous permettre d'affiner le diagnostic.

1.1.5 Détection des lésions

1.1.5.1 Signes cliniques

Les signes cliniques peuvent être assez similaires d'une lésion à l'autre. En effet, on observe les signes d'un phénomène inflammatoire aigu : notamment douleur à la palpation, chaleur de la zone atteinte, plus ou moins associée à une tuméfaction des tissus mous. On peut parfois observer la présence d'un œdème au niveau de l'articulation, mais également à sa périphérie. Des troubles fonctionnels comme un défaut de mobilisation engendrent rapidement une boiterie, d'appui ou de soutien. Dans le cas des luxations, une raideur, immobilité ou position anormale du membre peuvent être présentes. Il est également possible d'observer une déformation au niveau de l'articulation en cas de luxation importante. Enfin, on peut voir apparaître plus tardivement une amyotrophie du membre concerné sur les atteintes chroniques.

Les signes cliniques de la luxation sont donc souvent similaires à ceux de l'entorse, mais d'expression plus sévère.

Lors d'arthrose, la douleur se manifeste surtout à froid pour les animaux sportifs. On retrouve également de l'ankylose, un défaut d'extension ou de flexion, une déformation articulaire, des craquements ou encore de la chaleur ...

1.1.6 Méthodes diagnostiques des boiteries ostéo-articulaires

1.1.6.1 Examen clinique

Par définition, une boiterie est une anomalie de la démarche qui peut s'observer plus ou moins facilement, selon si elle est prononcée ou non. C'est un signe d'appel d'une atteinte musculo-squelettique, tendineuse ou ligamentaire, qui peut être localisée au niveau des membres ou de la colonne vertébrale. Afin de détecter, de caractériser et de localiser ces boiteries, le vétérinaire se doit d'effectuer un examen méthodique et systématique (Renberg 2001) .

On commence par observer l'animal à distance, à l'arrêt ainsi qu'en mouvement. On pourra alors apprécier notamment le positionnement, les aplombs, le polygone de sustentation, la répartition du poids, ou encore les angulations articulaires. En mouvement, l'observation depuis plusieurs angles et à différentes allures (marche, trot, galop) permet de révéler les boiteries, notamment en s'attardant sur la synchronisation des membres, sur leur mobilité, ainsi que sur le mouvement de la tête.

Puis, un examen orthopédique rapproché peut être effectué en quatre étapes principales : inspection, palpation, palpation-pression et mobilisation. Elles sont à réitérer sur chaque articulation de chaque membre, depuis les coussinets jusqu'à la partie la plus proximale du membre, afin d'avoir un examen locomoteur le plus complet possible. On peut alors mettre en évidence de nombreuses anomalies, telles qu'une amyotrophie, une tuméfaction, des plaies, une chaleur, de la douleur, des modifications d'amplitude ... Les mouvements d'extension/flexion, d'abduction/adduction, de rotations, de pronation/supination ou encore les mouvements forcés permettent d'affiner le diagnostic. Des notions théoriques, comme les valeurs moyennes des angles physiologiques de chaque articulation, sont donc nécessaires à un bon examen orthopédique. Les repères anatomiques sont également primordiaux. Dans le cas d'une luxation du coude par exemple, le triangle isocèle formé par l'olécrane et les deux épicondyles se trouve modifié. De même, une luxation de la hanche provoquera une nette élévation du grand trochanter, détectable à la palpation.

De plus, des tests spécifiques mettent en évidence des lésions précises : le test du biceps permet de mettre à l'épreuve le biceps brachial, le signe du tiroir évalue la stabilité d'une articulation (épaule, grasset, carpe et tarse ...), le test de Campbell met en évidence une synovite ou une atteinte des ligaments collatéraux du coude, le test d'Ortolani évalue la stabilité de la tête fémorale dans l'acétabulum, ou encore la luxation forcée de la rotule permet d'évaluer sa stabilité. Il faudra s'astreindre également à palper les culs de sacs synoviaux, qui informent de la présence ou non d'une synovite de l'articulation en question.

Ces tests fonctionnent particulièrement sur les affections franches. Or chez les chiens sportifs, surtout dans un contexte de compétition, les lésions sont souvent diffuses et les signes cliniques plus frustrés, donc difficiles à évaluer.

1.1.6.2 Imagerie

Enfin, des examens complémentaires spécifiques peuvent être mis en place afin d'établir un diagnostic de certitude : radiographie, arthrocentèse, échographie, scanner, IRM et arthroscopie sont des techniques régulièrement utilisées en orthopédie.

La radiographie est l'examen complémentaire de choix pour affiner le diagnostic différentiel. Il faut cependant être prudent quant à l'interprétation, puisque certaines lésions, telles que les lésions ligamentaires, passent parfois inaperçues. Deux incidences sont préférables, et la sédation ou l'anesthésie de l'animal peut être nécessaires, lors de positions articulaires forcées par exemple.

1.1.7 Etiologies des boiteries d'origine ostéo-articulaires

Les atteintes ostéo-articulaires peuvent avoir plusieurs origines : elles peuvent être provoquées par des éléments extérieurs, ou au contraire provenir de l'individu lui-même.

Tout d'abord, les contre appuis, ou « faux mouvements », sont des mouvements non physiologiques qui engendrent des lésions sur les structures des membres, et notamment sur les articulations. En effet, une articulation est capable de recevoir une force appliquée dans une direction donnée. Si une force est appliquée avec un certain angle, l'articulation et les structures la stabilisant, tels que les ligaments et les muscles, ne seront parfois pas en mesure de supporter la contrainte. Les entorses et les luxations peuvent être une conséquence de ces faux mouvements. Glissades, chocs, dénivelés, changement de direction soudain, ou autre effort soudain peuvent être à l'origine de ces contre appuis.

Les traumatismes externes tels que coups, chute, écrasement, choc, morsures ... sont fréquemment rencontrés et peuvent être à l'origine d'un grand nombre de boiteries chez le chien en compétition. Ainsi les luxations sont fréquemment traumatiques.

Mais certaines de ces affections sont dues à des particularités individuelles. Les aplombs par exemple, sont un facteur important dans l'apparition des boiteries. En effet, l'aplomb d'un membre correspond à sa direction par rapport au sol. Il détermine donc l'axe des forces exercées entre le chien et le terrain sur lequel il se déplace. Pour être physiologique, l'axe directeur doit être le plus proche

possible de la verticale. Les mauvais aplombs, qui correspondent donc à une déviation d'une ou plusieurs parties du membre, peuvent être un facteur favorisant de blessures, puisque provoquant une surcharge et un déséquilibre sur les articulations (figure 7). La plupart du temps, les mauvais aplombs se mettent en place durant la croissance. Leur observation lors d'une visite d'achat par exemple est donc essentielle : elle permet de sélectionner les individus avec les meilleurs aplombs possibles et ainsi moins sujets aux lésions articulaires lors de leur carrière sportive.

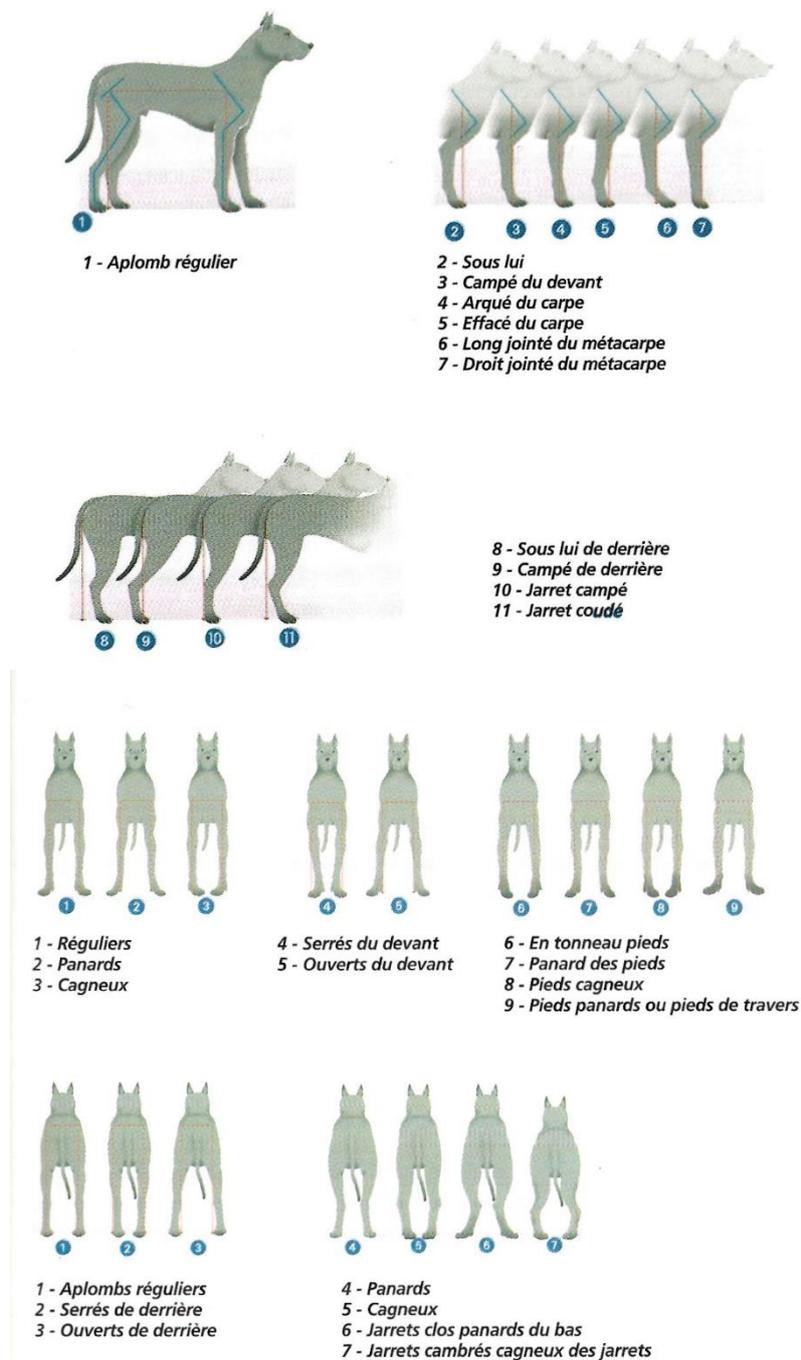


Figure 7 : Les aplombs du chien

Source : Grandjean 2002

De plus, des facteurs génétiques prédisposant, souvent spécifiques à la race, jouent un rôle important notamment dans les luxations et subluxation (Evans, Miller 2013). Dysplasie des hanches, des coudes, ou encore anomalies congénitales peuvent être à l'origine de boiteries et sont alors un frein à la carrière sportive du chien. Les luxations congénitales peuvent être dues à une anomalie de développement de l'articulation, et sont souvent progressivement cliniques (avec par exemple l'aplasie de la lèvre médiale de la trochlée fémorale provoquant une luxation de la rotule).

Enfin, les chiens qui exercent une activité sportive à répétition et intense sont plus à même de développer des atteintes ostéo-articulaires. En effet, des microtraumatismes à répétition fragilisent le squelette, les muscles, les articulations ... et peuvent provoquer une détérioration progressive des tissus, les rendant plus vulnérables. L'arthrose par exemple, est une pathologie due à une dégénérescence progressive du cartilage articulaire. Le vieillissement mais aussi l'activité sportive à répétition sont des facteurs de risque d'apparition d'arthrose (Worth et al. 2013).

1.2 Affections ostéo articulaires décrites chez le chien d'utilité

1.2.1 Chiens de course

Les lévriers sont les chiens de sport les plus connus et étudiés dans la littérature. Très populaires en Australie, Nouvelle Zélande, Irlande et aux Etats-Unis, les courses de vitesse de Greyhound sont un excellent terrain pour étudier le chien en tant qu'athlète.

Les blessures durant les courses de lévriers sont fréquentes : lors d'une étude menée durant 4 ans, sur plus de 5 400 Greyhound, 20% d'entre eux se sont blessés en compétition (A. L. Palmer et al. 2021). Parmi les blessures, près de 70% ont été classés comme lésions des tissus mous, 14.6% comme lacérations et 10,4% étaient des fractures (A. L. Palmer et al. 2021a). Ces fractures concernent majoritairement les os longs et sont alors causées par un contact traumatique, avec une bosse, une collision ou par une chute (Sicard, Short, Manley 1999).

Prole en 1976, nous donne dans son étude un aperçu précis des affections musculo-squelettiques rencontrées chez le Greyhound lors des compétitions de vitesse. Il détaille que, sur plus de 767 chiens retirés de la course suite à une blessure, 18.5% des atteintes provenaient de l'épaule (avec notamment l'implication du muscle triceps) et se traduisaient par des boiteries, des douleurs, des gonflements, et des ecchymoses. A contrario, le coude était bien plus rarement touché. Le carpe lui, est un site de blessure fréquent (11% du total des blessures orthopédiques), avec l'apparition de boiteries plus ou moins sévères, de douleurs à la palpation et à la flexion, de tuméfactions, pouvant être dues à des entorses ou à une rupture du tendon fléchisseur

ulnaire par exemple. Ces entorses du carpe répétées peuvent parfois même entraîner des modifications arthrosiques chroniques, handicapantes pour la suite de leur carrière. Les lésions tendineuses sont également fréquentes, notamment au niveau des fléchisseurs du métacarpe.

Pour finir, les doigts sont également sujets à entorses, la plus courante étant l'entorse de l'articulation inter phalangienne proximale, pour le pied comme pour la main.

Les membres pelviens sont décrits comme moins sujets aux blessures bien que le muscle droit interne (ou gracile) semble plus sensible, ainsi que les tarse, qui représentent 6% du total des blessures, notamment par entorse (Prole 1976).

Bien que présent dans les croisements de races trouvées en compétition de chiens de traîneaux, le lévrier est cependant un chien de sprint exclusivement. Ainsi les pathologies décrites sont assez spécifiques des courses de vitesse sur courte distance, conditions plutôt éloignées d'une course de traîneaux en moyenne de distance sur neige, où se rajoutent les contraintes liées au terrain et à la traction.

1.2.2 Chiens de travail

Les chiens de travail tels que chiens policiers, pompiers, militaires, guide d'aveugle, de détection ou encore d'assistance ou de recherche, sont des chiens dont l'entraînement est quotidien, et la condition physique primordiale. Également grands sportifs, ils sont donc particulièrement sujets aux affections osseuses, articulaires ou musculaires.

Peu d'études sont disponibles, cependant Mey et al. rapportent que les traumatismes et les lésions musculo-squelettiques représentent respectivement 33% et 22% des problèmes médicaux rencontrés chez les chiens militaires déployés en Irak. Parmi ces lésions musculo-squelettiques, 2/3 étaient représentées par des boiteries ou des raideurs des membres, ce qui correspond à 5% de chiens touchés dans la population (Mey et al. 2020).

Ces blessures musculo-squelettiques sont un sérieux problème pour la carrière de ces chiens de travail. En effet, la principale cause de départ à retraite des chiens policiers est l'arthrose (Worth et al. 2013). De même, une étude menée sur plus de 300 chiens de travail dans les fermes de Nouvelle Zélande démontre que ces atteintes musculo-squelettiques sont une cause majeure de mise à la retraite (Isaksen et al. 2020). Ils détaillent ici que les anomalies les plus courantes sont une réduction de l'amplitude de mouvement du carpe, ainsi qu'un gonflement du carpe ou du grasset. Ils remarquent également que le site de douleur le plus courant est la hanche. Au total, 57% des chiens inclus dans

cette étude ont développé une anomalie musculo-squelettique, ce qui nous confirme la haute prévalence de ces affections dans les populations de chiens de travail.

Néanmoins, il est nécessaire de rappeler que ces populations sont le plus souvent composées de Berger Allemand, de Berger Belge Malinois, ou encore Border Collie, des races reconnues comme étant prédisposées aux affections ostéo-articulaires. Il faut donc le prendre en compte lors d'extrapolations à d'autres races.

1.2.3 Chien de loisirs

Quelques études se sont intéressées à la prévalence des blessures chez les chiens d'agility, de canicross ou encore de chasse.

Les blessures en compétition d'agility sont fréquentes. En effet, 33% des chiens d'agility inclus dans une étude américaine en 2009 se sont blessés, dont 58% lors d'une compétition. Ici, les blessures les plus courantes étaient les atteintes des tissus mous, les entorses et les contusions. Les épaules et le dos sont les localisations les plus touchées, puisque représentant respectivement 20% et 18% des blessures. L'origine traumatique est la plus fréquente, avec notamment le contact contre un obstacle (Levy et al. 2009).

Les atteintes des doigts sont également très fréquentes chez le chien de sport. Sellon et al. montrent dans leur étude que l'une des premières causes de blessures aux doigts est traumatique, et se déroule lors de l'entraînement, de la compétition ou du jeu avec d'autres chiens. Ils constatent aussi que les fractures et les entorses sont les types de blessures les plus fréquemment rapportées. Enfin, ils précisent que la plupart des blessures aux doigts se situe au niveau du doigt 5, tout membre confondu, alors que l'ergot est le doigt le moins fréquemment atteint (Sellon et al. 2018).

Enfin, deux études, dont une enquête en ligne menée sur plus de 3800 chiens d'agility, viennent confirmer ces résultats : les zones de l'épaule, du dos, du cou et des phalanges sont principalement touchées (Cullen et al. 2013a; Kerr, Fields, Comstock 2014) . De plus, il est intéressant de noter que 32% de ces chiens ont subi plus d'une blessure, ce qui témoigne de la fréquence élevée de ces atteintes musculo-squelettiques en agility, mais qui laisse aussi penser à la possibilité de récurrences.

Les affections rencontrées chez les chiens de canicross sont légèrement différentes : lacérations des coussinets plantaires, abrasions et perforations sont le type de blessures le plus rencontré. (Lafuente, Whyte 2018).

1.2.4 Chiens de traineau

Les chiens de traineau sont les premiers chiens de sport de l'histoire. Au départ utilisé comme moyen de transport, notamment en Alaska, le chien de traineau est désormais dédié aux loisirs ou aux compétitions. Des courses de chiens de traîneaux sont notamment organisées aux Etats-Unis, au Canada, en Norvège et en France. Les conditions de course sont très particulières : conditions climatiques extrêmes, course sur la neige, forts dénivelés, longues distances à parcourir ... et le rythme de course imposé est très intense. Pour exemple, lors de l'édition 2021 de La Grande Odyssée, les chiens les plus rapides ont couru à 20 km/h de moyenne, pour un temps total de course de 14h18 (VVF 2021).

Les affections qui apparaissent chez ces chiens sont donc spécifiques de ce sport de glisse et les affections aiguës qui prédominent. Cependant les données bibliographiques restent pauvres.

Les données récoltées lors de différentes éditions de La Grande Odyssée montrent que les affections rencontrées chez le chien de traîneaux sont variées : atteintes de l'appareil locomoteur par traumatisme, affections digestives, maladies métaboliques, fatigue, troubles cardio-respiratoires ne sont pas rares (Rebert 2010). Mais les lésions les plus fréquentes restent les affections podales et digestives (Grandjean 2002), comme les dermites interdigitées, les blessures traumatiques des coussinets et les diarrhées d'efforts (Sigogneau 2019). D'après une étude menée durant La Grande Odyssée 2008, les traumatismes représentent presque 50 % des affections détectées sur cette édition.

Une étude menée en 2015 s'est intéressée aux atteintes orthopédiques des chiens de traîneaux participants à l'Iditarod, course de chiens de traineau en Alaska la plus longue du monde. Les résultats montrent que plus de la moitié des chiens ont abandonné la course pour blessure orthopédique (50,6 %). De plus, il est précisé que les atteintes orthopédiques sont plus souvent représentées sur les membres thoraciques (43,3%) que sur les membres pelviens (7,3 %) (von Pfeil et al. 2015) .

La mort d'un chien de traineau durant une compétition reste heureusement un évènement rare. Une étude menée sur l'Iditarod pendant 12 ans, rapporte 23 cas de chiens décédés. Les résultats montrent que la pneumonie par aspiration, les lésions de la muqueuse gastrique et la rhabdomyolyse sévère sont les 3 principales causes de décès (Dennis et al. 2008).

1.3 Facteur de risque d'apparition de ces affections ostéo-articulaires

1.3.1 Facteurs intrinsèques

L'âge du chien est l'un des premiers facteurs de risque évoqué dans la littérature, mais les avis divergent selon les études. En effet, d'après une étude chez les lévriers de course de Nouvelle Zélande, les chiens les plus âgés présentent une fréquence de blessure plus élevée que les chiens plus âgés de 14 à 26 mois (A. L. Palmer et al. 2021). Cette tendance a également été démontrée dans le domaine de l'agility chez 431 chiens (Kerr, Fields, Comstock 2014), chez les chiens de traineaux lors de La Grande Odyssée 2008 (Rebert 2010), mais aussi auprès des chiens de travail militaires, où les chiens les plus âgés avaient presque 5 fois plus de risques de blessures musculo-squelettiques que les chiens les plus jeunes (Mey et al. 2020). Au contraire, lors d'une autre enquête sur les blessures orthopédiques durant l'Iditarod 2011, il a été démontré que le risque pour un chien d'être exclu de la course diminue avec l'augmentation de l'âge du chien (von Pfeil et al. 2015). Il est donc difficile de connaître la réelle influence de l'âge sur l'apparition d'atteintes musculo-squelettiques. En outre, les études ne comparent jamais exactement les mêmes affections et les mêmes classes d'âge, il est donc compliqué de conclure de manière certaine.

L'entraînement peut également être à l'origine de ces divergences. En effet, l'âge et la condition physique du chien sont fortement liés : un jeune chien aura beaucoup moins d'heures d'entraînement à son actif qu'un chien avec plusieurs années d'expérience. Même si, à l'inverse, un vieux chien aura une capacité sportive diminuée par rapport à un jeune, certains auteurs s'avancent à dire qu'il ne fait aucun doute qu'un individu bien entraîné sera moins sujet aux blessures (Davis 1973). L'étude menée par Palmer sur les lévriers de course en Nouvelle Zélande confirme cette impression, en démontrant que le risque de fracture était significativement plus élevé chez les lévriers participant à moins d'une course par semaine (Anna L. Palmer et al. 2021b). Cette tendance apparaît également lors de La Grande Odyssée 2008, où l'incidence des traumatismes semble baisser avec l'augmentation des kilomètres à l'entraînement (Rebert 2010). De même, Cullen démontre dans son étude que les chiens ayant plus de 4 ans d'expérience dans le sport présentaient une diminution significative des risques de blessures (Cullen et al. 2013b).

En outre, lors de La Grande Odyssée 2008, les équipages de chiens qui participaient à la LGO pour la première fois sont bien plus touchés par des traumatismes que les autres équipages. Enfin, il est montré que la plupart des traumatismes survient dans les 200 premiers kilomètres, et lors des premiers dénivelés positifs ou négatifs rencontrés (Rebert 2010).

Son influence est néanmoins compliquée à apprécier car l'entraînement est un paramètre difficilement mesurable.

Pour autant, le surentraînement est à éviter. En effet, on sait que le lévrier de course est plus sujet aux fractures de fatigue que la population générale de chien. De fait, les courses et les entraînements provoquent une accumulation de microfissures de fatigue, et donc à terme une défaillance de la structure des os (notamment de l'os tarsal central) (Tomlin et al. 2000). La nature répétitive de la pratique et la surutilisation sont également des causes de blessures chez les chiens d'agility lors d'une enquête menée en 2009 (Levy et al. 2009).

Il faut donc adapter au mieux l'entraînement à l'individu et à la discipline. Dans une étude portant sur la rééducation du chien de sport, les auteurs nous rappellent que chaque sport requiert des aptitudes physiques distinctes. On prendra comme exemple les deux chiens de courses les plus étudiés : chiens de traîneau et lévriers. Exerçant dans des disciplines tout à fait différentes, il est logique que leur entraînements soient très différents : les chiens de traîneaux ont besoin de travailler leur appareil cardiorespiratoire et leur musculature, alors que les lévriers doivent améliorer leur vitesse et leur force (Marcellin-Little, Levine, Taylor 2005).

L'influence du poids du chien est également sujet à discussion. Alors que certains auteurs s'accordent à dire que les chiens présentant un score corporel élevé sont plus enclins à présenter des affections ostéo-articulaires ou musculo-squelettiques (Davis 1973), ils ne parviennent pas toujours à prouver que celui-ci a une influence significative sur le taux de blessures (Sicard, Short, Manley 1999).

Enfin, la race influence également potentiellement l'apparition de lésions chez le chien de sport. Au-delà des prédispositions raciales connues et documentées dans la littérature, des disparités apparaissent chez le chien lors de compétition et d'entraînement. Par exemple, une étude portée sur les chiens d'agility suggère un effet race chez les Border Collies, puisque la probabilité de blessures en compétition était significativement plus élevée chez ces chiens (Sellon et al. 2018). Chez les chiens de traîneau, il est remarqué lors de la Grande Odyssée 2008 que le Husky Sibérien semble présenter plus souvent des traumatismes que l'Alaskan Husky (Rebert 2010). Les disparités entre les chiens de traîneau laissent à penser que la race est un facteur important : le Husky de Sibérie est connu pour son endurance et sa fourrure le protégeant des conditions météorologiques difficiles, l'Eurohound a un profil d'athlète, est rapide mais possède un poil court, alors que l'Alaskan Husky est entièrement le fruit de la recherche de performance et de puissance. Leurs différences physiques sont donc incontestables, mais aucune étude ne prouve l'influence de la race sur l'apparition d'affections musculo-squelettiques.

Le sexe est également un facteur potentiel de risque puisqu'une étude menée sur plus de 3000 chiens, a montré que le nombre de rupture du ligament croisé antérieur était plus important chez les femelles et mâles stérilisés (Slauterbeck et al. 2004). Mais cette étude ne concerne pas seulement les chiens de sport et a été effectuée sur une clientèle classique. Von Pfiel, lui, a réussi à démontrer en 2015 que les chiens de traineau femelles étaient moins souvent exclues de l'Iditarod que les mâles pour des blessures d'épaules (von Pfeil et al. 2015). Le statut de stérilisation et le sexe sont donc potentiellement des facteurs de risque, mais sont encore peu étudiés.

1.3.2 Facteurs extrinsèques

D'autres facteurs, non inhérents au chien, peuvent influencer l'apparition d'affections ostéo-articulaires.

Tout d'abord, le sol sur lequel le chien s'entraîne ou concourt a un impact direct sur ses articulations, sa musculature et sa structure osseuse. En effet, dans une étude sur plus 1000 chiens en épreuves d'agility, Sellon et al. montrent que les blessures aux doigts varient en fonction du type de sol. De même, une étude en ligne sur les chiens d'agility publiée en 2013 assure que les facteurs environnementaux sont directement impliqués dans plus de 12% des blessures, avec par exemple la présence d'herbe mouillée, des sols meubles en terre, des surfaces sèches, des sols irréguliers etc. (Cullen et al. 2013a). Le glissement était même la cause la plus fréquente de blessure sans contact en agility lors de l'étude de Levy et al. en 2009 (Levy et al. 2009). La littérature confirme également cette influence chez le Greyhound lors de course de vitesse (Iddon, Lockyer, Frean 2014; Sicard, Short, Manley 1999; Davis 1973).

Dans le cas des chiens de traineau, la qualité de la neige est donc un facteur primordial à l'apparition ou non de lésions ostéo-articulaires. Il est à noter que la qualité de la neige est directement liée aux conditions météorologiques du jour (température, vent ou encore l'hygrométrie). Lors de la Grande Odyssée 2008, la neige lourde et glacée semblait entraîner plus de traumatismes que la neige poudreuse ou collante (Rebert 2010). La neige fraîche était également à l'origine d'une augmentation du nombre de dermites interdigitées en 2019 (Sigogneau 2019).

Le dénivelé lors de ces courses de moyenne distance est également un facteur de risque. En effet, la plupart des traumatismes sur la LGO 2008 sont survenus dans les 200 premiers kilomètres, et lors des premiers dénivelés positifs et négatifs rencontrés (Rebert 2010). Les étapes à fort dénivelé positif ont également été facteur d'augmentation de dermites interdigitées en 2019 (Sigogneau 2019).

La distance de la course influence également le taux de blessures des chiens sportifs, notamment chez le lévrier lors de courses de vitesse (Sicard, Short, Manley 1999).

Enfin, alors que l'on pourrait s'attendre à ce que les conditions météorologiques extrêmes et les basses températures influencent le taux de blessures, cette même étude chez les lévriers ne parvient pas à prouver une différence significative (Sicard, Short, Manley 1999).

2. La thermographie : principes et intérêts médicaux

2.1 Thermographie et thermorégulation

2.1.1 Définition et concepts de base

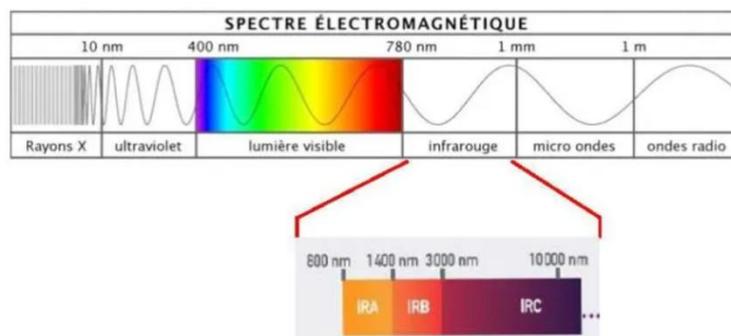


Figure 8 : Spectre électromagnétique

Source : <https://www.alpha-cure-france.fr/lampes-ir/technologie-ir/>

L'Association Française de la Normalisation (AFNOR) définit l'imagerie thermique par infrarouge, ou thermographie, comme une technique qui permet d'obtenir l'image thermique d'un objet étudié grâce à son analyse infrarouge.

En effet, Herschel découvre en 1820 que tout objet dont la température est supérieure au zéro absolue émet des rayons infrarouges (Minkina and Dudzik 2009). On rappelle que les rayonnements visibles ont des longueurs d'ondes entre 400 et 780 nm, alors que l'infra-rouge se situe entre 780 et 10 000 nm (figure 8).

Chaque corps possède une capacité d'absorption, de réflexion, d'émission et de transmission donnée, qui dépend du matériau dont il est composé, de sa surface et de sa température. On rappelle qu'un corps noir parfait absorbe à 100 % le rayonnement, tandis sa réflexion et sa transmission sont nulles. L'émissivité, elle, correspond à la capacité de l'objet à absorber et à émettre un rayonnement infrarouge et est considérée comme plus importante que la réflexion.

Chaque corps émet donc un type de rayonnement électromagnétique appelé rayonnement thermique, dont l'intensité dépend de la longueur d'onde du rayon et de la température du corps. Les caméras thermiques permettent de convertir ces rayonnements image. Ainsi, le rayonnement arrive jusqu'au détecteur de la caméra, est converti en signaux électriques, qui sont transmis vers un écran : on obtient l'image des températures de surface du corps, c'est-à-dire le thermogramme. Cette image, composée de pixels, apparaît alors en nuance de couleur correspondant chacune à une température différente émise par l'objet.

2.1.2 Thermorégulation et facteurs de variations thermiques

La thermorégulation correspond à l'ensemble des mécanismes qui permettent le maintien d'une plage de température optimale par un organisme (Lotha, Rodriguez 2018) .

Les mammifères sont des animaux dit homéothermes, c'est-à-dire qu'ils possèdent un système de régulation actif qui permet de maintenir une température constante et indépendante du milieu ambiant. La température chez un être vivant se compose de 2 secteurs : le noyau central, qui possède une température constante et est composé entre autres des organes vitaux, et l'enveloppe cutanée, zone périphérique du corps qui subit des variations afin de permettre la régulation générale. Le maintien de cette température centrale s'effectue grâce à deux mécanismes antagonistes : la thermogénèse et la thermolyse (Kurz 2008). Or, l'un des mécanismes régissant la thermolyse est le rayonnement. Ce sont ces rayonnements infra-rouges que mesure une caméra thermique et qui constituent la base de la thermographie.

Des réponses physiologiques apparaissent donc lors de variations de température ambiante, et font alors varier la température cutanée. On évoquera par exemple l'adaptation du système cardiovasculaire, par la modification du débit sanguin cutané notamment vers les membres et l'évaporation transcutanée et sudation. Ces mécanismes engendrent par conséquent une modification de la température cutanée.

De plus, la fourrure des mammifères, à fortiori chez les races de chiens de traîneaux tels que le Husky de Sibérie ou l'Alaskan Husky, modifie la température de surface mesurée. En effet, elle a une très faible conductance, et confère par conséquent une très bonne isolation thermique. Aussi, la composition telle que la longueur, la structure du poil, la densité et la couleur sont des facteurs de variations de l'absorbance, et donc de la température de surface. Le poil blanc va réfléchir les rayonnements alors que le poil noir les absorbe. En parallèle, le poil lisse et ras renvoie la chaleur vers l'extérieur, alors que le poil dense et long la renvoie vers l'animal. Une étude menée en 2019 démontre

que les chiens à poils court présentent des températures moyennes significativement plus élevées de 2°C que les chiens à autre type de poil (frisé, long, épais) (Kwon, Brundage 2019).

Enfin, certains facteurs extérieurs sont source de variation de la température centrale. Ceux qui pourraient être rencontrés dans notre cadre d'étude des articulations sont :

- l'effort physique : l'augmentation de la température centrale est une adaptation favorable à la réalisation d'un exercice musculaire car permet d'accélérer les réactions enzymatiques augmentées pendant l'effort
- les pathologies infectieuses : l'hyperthermie est un cas particulier, où il se produit une augmentation de température afin de lutter contre une infection.

Ces facteurs sont donc à prendre en compte et nous nous sommes appuyés sur ces données physiologiques pour définir nos critères d'inclusion et d'exclusion : les animaux inclus n'ont pas effectué d'effort physique avant l'obtention des clichés et doivent être normothermes.

2.1.3 Variations thermiques dans le cas de l'inflammation

La réaction inflammatoire est une réponse des tissus vivants, vascularisés aux agressions tissulaires quelle qu'en soit la nature afin de réparer les lésions tissulaires (Fioranelli et al. 2021) . Elle est composée de trois phases : la phase silencieuse, la phase vasculo-exsudative, et la phase cellulaire. C'est la seconde phase qui provoque des modifications thermiques de la zone inflammatoire. En effet, dans les heures qui suivent la lésion, une vasodilatation des capillaires se met en place localement, déclenchée par les nerfs vasomoteurs : c'est la congestion active. Il y a alors une augmentation de l'apport sanguin artériolaire et une stase sanguine dans la zone. Puis l'exsudation plasmatique est permise par une augmentation de perméabilité des parois capillaires. Il y a alors apparition d'un œdème. Ce gonflement des tissus provoque une douleur localisée car comprime des terminaisons nerveuses. On retrouve ici les 4 signes cliniques invariables de l'inflammation : douleur, gonflement, rougeur et chaleur.

Dans notre étude, ce sont les inflammations d'origine traumatique qui nous intéressent particulièrement. Cette production de chaleur localisée due à l'inflammation aigue est donc la clef de l'utilisation de l'imagerie thermique.

Or il faut savoir que les tissus qui n'ont pas de vaisseaux sanguins, par exemple les cartilages, ne peuvent pas développer une réaction inflammatoire. Ce sont les tissus aux alentours de l'articulation, tels que les muscles, les ligaments, les tendons ou les os, qui peuvent présenter une réaction inflammatoire.

2.2 Applications en médecine vétérinaire

A l'origine, la thermographie infrarouge a été mise au point dans le domaine de l'industrie, et est notamment très utilisée dans le diagnostic en bâtiment : vérification de l'isolation, localisation de pannes électriques, détection d'infiltrations et de zones humides ... Elle est également largement utilisée dans le domaine militaire, où les caméras infrarouges permettent d'avoir une visualisation de l'environnement dans le noir. Mais depuis quelques décennies, sa pratique s'est développée au sein du domaine des sciences, de la recherche et de la médecine.

Nous allons pour cette partie nous concentrer sur des exemples des principales applications dans le domaine de la santé vétérinaire équine, rurale et canine.

2.2.1 Applications en orthopédie

L'orthopédie tient une place prépondérante chez les animaux de sport, notamment les chevaux. Très sollicités lors des courses de galop, de trot, des compétitions de saut d'obstacle, de dressage ou encore d'endurance, les chevaux sont sujets aux affections ostéo-articulaires et aux boiteries associées. La gestion de la locomotion dans le domaine équin est donc un enjeu majeur, pour les chevaux de sport comme de loisirs. La thermographie est largement utilisée en médecine équine, c'est même l'application la plus répandue dans le domaine vétérinaire à ce jour. En effet, de nombreuses études prouvent son efficacité et expliquent son utilisation en cas de boiterie (Eddy, Van Hoogmoed, Snyder 2001a; Turner 1991; Soroko et al. 2013; Purohit, McCoy 1980). La thermographie s'avère très utile pour l'étude du pied, dans le cas notamment de fourbures, de syndrome naviculaire, d'abcès de la sole ou autre inflammation du sabot. En effet, elle permet de localiser et de grader la sévérité de la lésion car ces pathologies provoquent des modifications vasculaires importantes. Les inflammations des articulations ainsi que les lésions tendineuses et ligamentaires décrivent également des profils thermiques spécifiques, et sont ainsi détectables grâce à la thermographie (Turner 1991). La thermographie se révèle donc utile dans le diagnostic, le pronostic et l'évaluation des boiteries chez le cheval. De même, le domaine canin a commencé à s'intéresser à l'utilisation de la thermographie en orthopédie, notamment pour la détection d'atteintes du grasset, et la rupture des ligaments croisés (Igna et al. 2017).

Pour autant, son utilisation s'avère ici mitigée : la thermographie parvient à distinguer un grasset sain d'un grasset malade, mais ne n'aide pas toujours au diagnostic étiologique. Pour autant, une étude menée sur les coudes des chiens en 2015 a démontré que l'imagerie thermique a permis d'identifier 100% des chiens atteints de dysplasie des coudes (McGowan et al. 2015).

Enfin, certaines boiteries peuvent également être causées par des lésions de dermatite digitale, notamment chez les bovins laitiers. Une étude publiée en 2018 s'est intéressée à ce cas de figure, et démontre des différences significatives de température entre le pied boiteux, atteint de dermatite, et le pied sain (Harris-Bridge et al. 2018).

2.2.2 Applications en infectiologie

La thermographie est également utilisée dans la détection des maladies infectieuses, notamment chez les veaux. Plusieurs études démontrent la détection précoce de l'infection par des virus à l'origine de diarrhées, de maladies respiratoires, ou encore du virus de la fièvre aphteuse chez les bovins (Schaefer et al. 2004; 2012; Rainwater-Lovett et al. 2009). Les maladies systémiques se manifestant par de la fièvre font donc partie des utilisations possibles de la thermographie, avec notamment la mise en place de mesures automatisées, comme ici avec la mise en place de caméras thermiques au niveau des abreuvoirs des veaux (Schaefer et al. 2012)

Une étude chez des vaches laitières en 2010 a également démontré l'intérêt de la thermographie dans le dépistage de la thermographie lors de mammites subcliniques, en mesurant la température de surface de la peau du pis (Polat et al. 2010). Cette tendance est confirmée par une étude chez des brebis en 2013, qui rapportent des différences significatives de température entre mamelles saines et mamelles atteintes de mammite subclinique (Martins et al. 2013). La sensibilité et la spécificité de cette technique sont discutées dans une autre étude sur les pis des vaches laitières, tout en étant considérées comme acceptables (Zaninelli et al. 2018).

2.2.3 Applications en reproduction

Peu d'études se sont intéressées à l'utilisation de la thermographie dans le domaine de la reproduction. Une d'entre elles portant sur les vaches montre tout de même des résultats encourageants : il est observé une différence significative de température de la vulve entre une vache qui présente des follicules ovariens et une vache qui n'en présente pas. Il est tout de même précisé que le diagnostic de gestation n'est pour le moment impossible avec des techniques de thermographie, et que des études supplémentaires sont nécessaires dans ce domaine (Radigonda et al. 2017).

2.2.4 Applications en médecine interne

De étude menée sur le chat révèle un intérêt dans l'utilisation de la thermographie pour la détection de l'hyperthyroïdisme chez le chat (Waddell et al. 2015). En effet, elle prouve l'efficacité de cette technique non seulement pour la détection de la maladie, mais également pour son suivi après mise en place du traitement notamment.

Chez le chat toujours, la thermographie a montré des résultats prometteurs lors d'une affection vasculaire courante : la thromboembolie aortique féline. En effet, une étude menée en 2018 montre que l'imagerie thermique a une précision de 80.5% dans la détermination de la présence d'une hyperthyroïdie chez le chat clinique, sans lui tondre la partie ventrale du cou, et de 87.5 % lorsqu'ils ont tondu. Ils en conclut que la sensibilité et la spécificité de détection est satisfaisante dans ce cadre de maladie endocrinienne (Pouzot-Nevoret et al. 2018).

2.2.5 Applications en oncologie

Les tumeurs provoquent des phénomènes inflammatoires localisés, ce qui les rend susceptibles d'être détectées par thermographie. C'est ce qu'a étudié Pavelski, sur les chiennes atteintes de tumeurs mammaires : il a en effet démontré que les mamelles présentant des tumeurs avaient une température plus élevées que les mamelles saines (Pavelski et al. 2015).

Tout comme les tumeurs des tissus mous, les tumeurs osseuses, notamment sur le squelette appendiculaire, peuvent être détectées par thermographie (Sung et al. 2019). En revanche, l'imagerie thermique ne peut être utilisée dans ce cas comme seul outil diagnostique, car n'est pas assez précise sur l'origine de la tumeur.

En combinant les résultats de ces différentes études, on remarque que la thermographie pourrait être utile à la prévention, la détection, le diagnostic et le suivi de nombreuses pathologies, et ce chez de nombreuses espèces.

2.3 Avantages et inconvénients

Parmi ses nombreux avantages rapportés dans la littérature, le premier semble être son non invasif et sans contact, ce qui est apprécié lors d'étude sur les animaux difficilement approchables, pour lesquels un examen clinique n'est pas envisageable, oiseaux ou faune sauvage notamment se retrouvent également avec les chevaux (Turner and Scoggins 1985; Johnson et al. 2011), dont la patience peut être limitée et pour lesquels un contact réduit peut augmenter la sécurité des individus autour. L'absence de contact permet la mise en place de mesures à distance : dans une étude de 2016, les caméras thermiques ont permis l'évaluation du stress chez des chiens causé par la séparation (entre des chiens et leur maître et entre congénères), sans contacte proche des animaux et donc sans interférence (Riemer et al. 2016).

L'absence de contact amène ainsi une absence de douleur lors de l'utilisation de l'imagerie thermique, ce qui est un atout majeur face à l'examen d'une lésion qui peut être douloureuse, comme le décrit Pavelski dans son étude sur les chiennes atteintes de tumeurs mammaires (Pavelski et al. 2015).

Elle est également appréciée pour sa rapidité et sa facilité d'utilisation : les études, dans différents domaines vétérinaires, rapportent toutes que la caméra thermique est un outil facile à prendre en main, adapté à la pratique de terrain (la plupart du temps l'appareil est portable), et qui possède une utilisation intuitive, que ce soit dans l'exercice équin, rural, ou en laboratoire (Soroko et al. 2013; Rainwater-Lovett et al. 2009; Polat et al. 2010; Całkosiński et al. 2015).

Enfin, la capacité à détecter précocement les maladies et lésions est également abordée. Deux études menées sur les infections virales de veaux démontrent que la thermographie infrarouge peut être un outil de prédiction précoce de l'infection systémique, avec une détection allant de plusieurs jours à une semaine avant une nette apparition des signes cliniques (Schaefer et al. 2004; 2007). De même dans le domaine équin, il est remarqué dans une étude parue en 2001, que les caméras thermiques sont capables de détecter des blessures, notamment des tendons fléchisseurs, avant même que le cheval ne présente cliniquement une boiterie (Eddy, Van Hoogmoed, Snyder 2001a). Enfin, il est confirmé par Sung en 2019, que la thermographie est un outil de dépistage et de diagnostic précoce des cancers du squelette appendiculaire chez le chien (Sung et al. 2019).

La thermographie comporte également, comme tout outil diagnostique, des inconvénients lors de son utilisation.

Une étude publiée en 2013 s'est intéressée à l'utilisation de l'imagerie infrarouge sur les animaux sauvages (Cilulko et al. 2013). Parmi les limites citées, on retiendra tout d'abord l'influence

des conditions météorologiques : le rayonnement solaire, les précipitations (neige, pluie, brouillard), le vent ou encore les courants d'air affectent fortement les résultats obtenus, puisque modifient les températures de surface de la peau des animaux. Cet impact de l'environnement sur les mesures est majeur, et représente l'inconvénient le plus fréquemment rapporté dans la littérature.

Cilulko et al. évoquent également la distance d'acquisition des images comme pouvant être une limite : elle se doit d'être toujours égale entre les mesures, et selon les appareils, une distance maximale est à respecter entre l'objectif et l'objet étudié afin d'obtenir des résultats probants (Cilulko et al. 2013) .

De plus, comme expliqué dans la partie « 2.1.2 Thermorégulation et facteurs de variations thermiques », l'individu en lui-même peut modifier un profil thermographique « normal ». Ainsi, la fourrure des mammifères notamment, a un rôle primordial dans la thermorégulation. Son épaisseur et sa qualité influencent donc directement les résultats mesurés par imagerie thermique. Dans une étude sur le stress des chiens, les poils caractéristiques de certaines races ont affecté les mesures des températures de surface des pavillons externes des oreilles (Riemer et al. 2016). Il est également précisé par Cilulko et al. que l'épaisseur de la graisse sous cutanée influence la perte de chaleur et donc les températures de surface de la peau. Enfin, comme déjà mentionné, la circulation sanguine, le stress ou encore l'activité physique ont un impact majeur sur les températures mesurées également (Cilulko et al. 2013). Une des conséquences directes est la restriction de la localisation des lésions mesurables. En effet, Turner précise que la thermographie ne peut pas évaluer avec précision les os fortement recouverts de muscle, comme pour de nombreux os long chez le cheval. Il explique qu'un os doit donc être en contact relativement étroit avec la peau pour en affecter la température (Turner 1991).

Le coût du matériel est également un inconvénient notable : plusieurs études s'accordent à décrire les caméras thermiques comme un matériel cher et encore peu accessible, ce qui peut freiner son utilisation et sa démocratisation (Cilulko et al. 2013; Ward 1998).

Enfin, dans leur étude sur les boiteries chez les chevaux, Eddy et al. mettent en avant le manque de spécificité de la thermographie, ce qui ne leur permet pas de définir une étiologie précise des affections étudiées (Eddy, Van Hoogmoed, Snyder 2001). Ils évoquent donc la nécessité de combiner cette méthode avec d'autres outils diagnostiques.

L'ensemble de ces inconvénients sont confirmés et bien précisés dans le « Veterinary Guidelines for Infrared Thermography » (The American Academy of Thermology 2019).

2.4 Principales conclusions de l'étude menée lors de La Grande Odyssée 2020

Notre étude fait suite au travail préliminaire de thèse d'exercice vétérinaire de Canelle Fauquet, qui a effectué ses mesures sur des chiens sains avant course lors de la Grande Odyssée 2020. Nous nous appuyons donc sur certains de ses résultats dans notre partie expérimentale.

Tout d'abord, la thermographie s'est révélé un outil adapté à une utilisation dans le contexte d'une course de chien de traîneaux en montagne. Elle a en effet « répondu aux exigences météorologiques, d'itinérance et d'efficacité imposées par la course » (Fauquet 2020).

Son étude a également permis de vérifier un certain nombre de postulats qui nous sont indispensables : chez le chien sain, il n'y a pas de différence significative de la température moyenne d'une articulation donnée entre le membre droit et le membre gauche. Cela nous permet donc, dans notre étude, d'utiliser le membre controlatéral du membre atteint comme contrôle de nos mesures afin d'interpréter une anomalie de température, c'est à dire d'utiliser un chien comme son propre témoin.

De plus, la comparaison des différentes vues a permis de mettre en évidence que dans les conditions de prises de vue lors de la Grande Odyssée 2020, la vue de profil des articulations était toujours plus chaude que la vue de face de cette même articulation.

Dans un même temps, la comparaison des températures moyennes des articulations entre chiens à fourrures denses et longues et chiens à fourrures rases montre une température de surface significativement plus élevée chez ces derniers quelle que soit l'articulation concernée. Enfin, il a été montré que les articulations les plus distales présentaient des températures de surface significativement plus froides que les articulations proximales.

3. La Grande Odyssée : une course de chien de traineau dans les Alpes

3.1 L'évènement et son organisation

« La Grande Odyssée Savoie Mont Blanc » est une course de chien de traineaux qui se déroule chaque année au mois de janvier dans les Alpes. Créée en 2005, elle s'impose rapidement comme l'une des plus grandes courses de chiens de traineaux d'Europe.

Elle accueille chaque année près de 600 chiens et entre 50 et 70 mushers, français ou étrangers. Elle est composée de 10 étapes qui se déroulent sur 11 journées de compétition, et traverse une vingtaine de stations de ski à travers le massif Alpin savoyard (Annexe 1). Le principe des épreuves est un contre la montre : c'est l'attelage le plus rapide qui remporte l'épreuve puis la course. Avec des étapes de 30 km en moyenne, elle est qualifiée de course de moyenne distance. Le dénivelé est en revanche inédit : 10 000 m de dénivelé positif sont à parcourir au total.

Notre étude a été menée lors de la 17^{ème} édition, du 9 au 20 janvier 2021.

Il existe de nombreuses autres courses de chiens de traineaux dans le monde avec deux autres profils principaux : le sprint et les courses longues distances. L'une des plus connues au monde est l'Iditarod Trail Sled Dog Race, une course d'endurance qui se déroule en Alaska.

Les conditions climatiques de ces courses sont extrêmes. Lors de La Grande Odyssée, les attelages peuvent monter jusqu'à 2500 m d'altitude et concourir à des températures pouvant baisser jusqu'à -20°C, sous la neige, la pluie, le vent ou dans le brouillard. L'obscurité de la nuit est également souvent une difficulté supplémentaire à surmonter lors de la fin des étapes et du retour au bivouac. Cette course au profil unique sollicite les chiens différemment par rapport aux autres courses de longues distances avec peu de dénivelés, plus étudiées dans la littérature.

3.2 Le chien de traineau, athlète à part entière

3.2.1 Les races de chiens

Trois races principales sont représentées lors de La Grande Odyssée. Le plus connu, le Husky Sibérien, est un chien de pure race, nordique. C'est un chien de travail de taille moyenne et à poils longs. Il est connu pour pouvoir transporter des charges légères sur de longues distances et à vitesse modérée. Il est privilégié par les mushers les plus « traditionnels », pour son côté historique, sa rusticité, et son endurance bien qu'un peu moins rapide que les autres races. Les deux autres races ne sont pas de lignée pure mais sont issues de croisements.

L'Alaskan Husky est issu de multiples croisements entre le Husky et d'autres races, comme des chiens de chasse, dans le seul but de sélectionner les performances sportives (*Les chiens - les Races* 2019). Il est connu pour son endurance et sa robustesse. Les mushers façonnent donc leur meute en fonction des compétitions auxquelles ils participent. Une étude a même été menée en 2010 sur 199 chiens afin d'étudier le profil génétique de l'Alaskan Husky : elle démontre que le croisement avec du Malamute d'Alaska et du Husky Sibérie permet une amélioration de l'endurance, alors que le croisement avec du Pointer améliore la vitesse (Huson et al. 2010).

Enfin, le Eurohound, aussi appelé Scandinavian Hound, est un chien à la morphologie plus athlétique. Il est le fruit d'un croisement entre l'Alaskan Husky et le pointer, ce qui lui confère de la vitesse, et lui permet de dominer les compétitions de sprint et de moyenne distance. D'autres races comme le Malamute ou le Greyster seront rencontrées de manière plus anecdotique sur les courses de mi-distance comme La Grande Odyssée. En général, les mushers sont assez fidèles à une race, par soucis de performance ou par affection.

3.2.2 Attelage et performance

Un attelage peut se composer de 5 à 10 chiens pour une étape de la course en fonction de la catégorie dans laquelle ils concourent. Ce sont tous des chiens de meute, qui ont chacun leur place dans le groupe, mais aussi dans l'attelage. En effet, chaque place est définie par un rôle particulier, et le chien qui l'occupe est choisi en fonction de ses capacités physiques, mais aussi de sa personnalité. Les chiens les plus disciplinés et qui ont le will-to-go (l'envie d'y aller) sont placés en tête, et seront nommés « Leaders ». Ils ont pour rôle de donner le rythme et d'être attentif aux consignes de direction du musher. Au contraire, les chiens les plus puissants, plus massifs et capables de tracter une charge lourde, seront placés au plus proche du traîneau : ce sont les « Wheels ». Ils ont notamment pour rôle de faire démarrer le traîneau sur la ligne de départ. Les chiens placés juste derrière les leaders sont appelés « Swing », et sont là pour soutenir les leaders dans la vitesse et les changements de direction, et sont parfois de futurs chiens de tête. Les autres places dans l'attelage constituent le reste de l'équipe (figure 9).

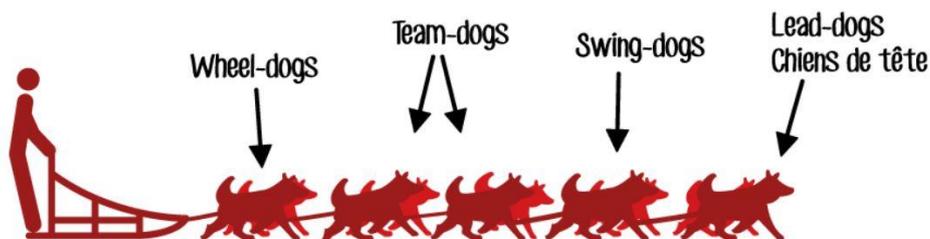


Figure 9 : Schéma d'organisation d'un attelage de chien de traîneau
Source : <https://www.grandeodysee.com/>

3.3 Une équipe vétérinaire dédiée

3.3.1 Missions et organisation

L'équipe vétérinaire se compose de 8 à 11 vétérinaires dont une chef vétérinaire, accompagnés d'un nombre variable d'étudiants selon les éditions. Les principaux rôles de l'équipe sont évidemment d'assurer le bien-être, la santé et le suivi des chiens en course mais également de veiller à la sécurité sanitaire. En effet, les vétérinaires sont garants de la réglementation sanitaire de la compétition et doivent s'assurer de la conformité des documents administratifs des chiens par des contrôles réguliers.

Lors de la première journée de course, les vétérinaires réalisent un examen clinique complet et exhaustif sur chaque chien afin de le qualifier apte à concourir ou non. Un carnet de santé de la course est alors remis au musher et permet un suivi médical individuel tout au long de la compétition. Pendant la course, les vétérinaires effectuent des contrôles réguliers pour s'assurer de l'état général et de santé des chiens.

A chaque départ et arrivée d'étape, un contrôle aléatoire des transpondeurs électroniques est également effectué afin de prévenir les fraudes. Sur la piste, en cas de détresse vitale d'un chien, un vétérinaire est dépêché auprès du musher au plus vite. Enfin, une partie de l'équipe vétérinaire placée à l'arrivée de la course est également en charge d'observer attentivement le comportement des chiens à l'arrivée de la course, afin de détecter précocement les individus montrant des signes de fatigues, des diarrhées d'efforts, des boiteries, ou toute autre affection apparente. Cela permet de réaliser de manière plus ciblée les examens cliniques à leur arrivée au bivouac.

Un vétérinaire de l'équipe peut être consulté tous les jours et 24h/24 durant la course. L'équipe assure également les soins aux chiens que les mushers ou handlers ne seraient pas en mesure d'effectuer. Enfin, si un vétérinaire diagnostique à la suite d'un examen clinique approfondi, un symptôme, maladie ou lésion rendant le chien inapte à poursuivre la course, le chien est immédiatement exclu de la compétition, de manière temporaire ou définitive selon l'atteinte : on dit alors que le chien est « droppé » (KCIOP 2022).

La lutte contre le dopage fait également partie des missions vétérinaires. En collaboration avec l'Agence Française de Lutte contre le Dopage, des contrôles aléatoires sont effectués grâce à des échantillons de sang et d'urine.

3.3.2 Le règlement et la santé animale

L'organisation de la course met en place de multiples mesures afin de s'assurer de la bonne santé et du bien-être des chiens. Tout d'abord, le règlement de La Grande Odyssée précise que l'âge minimum requis pour que le chien participe à la compétition est de 18 mois au premier jour de la course ((KCIOP 2022). Cela permet de ne faire concourir que des chiens adultes, dont l'entraînement a pu être réalisé correctement, sans avoir d'impact sur leur croissance ou leur comportement par exemple. Il est également précisé que, durant la compétition, les chiens présents sur le bivouac doivent rester accessibles aux vétérinaires à tout moment et doivent être examinés avant d'être entrés dans leur abri.

Le musher a également une grande part de responsabilité dans le maintien de l'état de santé de ses chiens, puisqu'il doit « démontrer sa capacité à fournir à ses chiens les soins appropriés » au risque de se faire disqualifier (KCIOP 2022). Il en est évidemment de même pour tout mauvais traitement ou manque d'action pouvant entraîner douleur ou souffrance.

Enfin, il est inscrit dans le règlement qu'un attelage doit terminer l'étape avec un nombre minimum de chien attelés (5 ou 6 selon le type d'étape). Cela permet de limiter les efforts excessifs des chiens restés attelés et de préserver leur condition physique pour les jours suivants.

3.3.3 La médecine vétérinaire sur le terrain

Les conditions extrêmes de La Grande Odyssée nécessitent une grande organisation et un équipement spécifique pour garantir des soins de qualité.

L'équipe vétérinaire dispose d'une clinique mobile et pharmacie complète transportées dans un camion. L'ensemble des médicaments nécessaires à la bonne prise en charge des principales maladies y sont présents. La prescription est néanmoins bien différente de la pratique courante puisqu'un grand nombre des principes actifs allothérapeutiques sont considérés comme dopants. Toute prescription de médicaments entraînera donc la disqualification du chien pour le reste de la course. Ainsi, les thérapies alternatives telles que la phytothérapie se trouvent mises à l'honneur. L'ostéopathie et la physiothérapie sont également essentielles à la gestion des chiens en post course, notamment sur les affections ostéo-articulaires. Mais surtout le vétérinaire doit compter sur son sens clinique et les examens complémentaires accessibles pour prendre la décision de traiter activement, ou pas, un animal présentant une baisse de forme.

L'équipe a également accès à un plateau technique de haut niveau : radiographie numérique par capteur plan autonome, échographe et analyseurs d'hématologie, de biochimie et des gaz sanguins

sont disponibles sur place, au chevet du patient et transportés sur chaque étape de la compétition. Ils sont indispensables pour poser un diagnostic précis et rapide lorsque des cas cliniques complexes se présentent.

C'est donc dans ce contexte, où toute prise de décision du vétérinaire peut avoir des conséquences non négligeables sur l'attelage entier que s'inscrit notre étude expérimentale, dans le but d'investiguer l'intérêt de la thermographie lors du diagnostic des affections ostéo-articulaires chez le chien de traîneaux.

DEUXIEME PARTIE – ETUDE EXPERIMENTALE

Introduction et objectifs de l'étude

Nous présentons ici une étude réalisée lors de « La Grande Odyssée Savoie Mont-blanc 2021 » qui s'est déroulée du 9 au 20 janvier 2021. Lors de cette compétition, les chiens qui participent sont soumis à un violent exercice physique, sur une longue distance et durant plusieurs jours. Les blessures sont fréquentes et les affections multiples : traumatismes, atteintes digestives, désordres métaboliques ... Comme évoqué dans la première partie, les moyens mis en œuvre sur le terrain sont variables selon les conditions et la finesse du diagnostic est primordiale pour l'avenir du patient durant la course.

Les boiteries notamment sont nombreuses. Parfois bénignes et d'étiologie variée, elles constituent pourtant l'une des causes principales de mise au repos, voire d'exclusion de chien en course. Ainsi, toute méthode facile et peu invasive permettant d'affiner le diagnostic étiologique et le pronostic pour l'animal en course est la bienvenue. La lésion peut être d'origine osseuse, musculaire, ligamenteuse ou encore tendineuse. Aussi, elle peut se situer à tous les étages du membre, des extrémités des doigts jusqu'aux zones les plus proximales comme les épaules ou les hanches, et peut parfois être difficile à localiser sur un animal dont tout l'appareil musculo-squelettique a été sollicité durant l'effort.

Dans ce contexte, l'imagerie thermique par infrarouge, qui permet d'améliorer la détection et la prévention de blessure chez le sportif humain (Quintana, Carmona, Fernández Cuevas 2017), pourrait présenter les mêmes avantages chez le chien sportif. L'objectif de cette étude est donc d'investiguer la pertinence de l'utilisation de l'imagerie thermique infrarouge, en condition de course, comme outil diagnostique lors d'affection ostéo-articulaire chez le chien de traineau. Ainsi, la méthodologie de cette étude et la chronologie des étapes mises en place sont notamment basées le protocole expérimental de l'édition 2020 (Fauquet 2020), mais aussi sur les indications présentes dans le Guidelines for Veterinary Thermography (The American Academy of Thermology 2019). En revanche, suite à une erreur de format d'image indépendante de notre volonté, nous avons dû mettre en place et valider a posteriori une nouvelle méthode de traitement des images thermiques sur un groupe contrôle de chiens sains que nous présenterons en préambule de l'étude expérimentale sur le terrain.

Ainsi, la première partie se consacrera à l'acceptabilité d'une méthode d'analyse d'image thermique via un codage sur le logiciel MatLab®. Puis la deuxième partie traitera l'étude thermographique des chiens de traîneaux de la Grande Odyssée Savoie Montblanc 2021 ayant présenté une lésion ostéo-articulaire pendant la compétition.

PARTIE A : Acceptabilité du logiciel MatLab

1. Contexte et objectif

Durant la compétition, l'ensemble des images thermiques ont été enregistrées, contre notre volonté, dans un format inadapté à l'analyse thermique (le format « .bpm »). Un autre format existe sur la caméra thermique (le format « .ist ».) qui lui permet l'analyse directe des températures relevées avec le logiciel du fabricant de la caméra (le logiciel GRAYESS IRT par Fluke).

Nous avons donc, avec l'aide d'un ingénieur en informatique et développeur, créé un code informatique sur logiciel MatLab®, afin de pouvoir analyser les températures de ces images au format « .bpm » de manière similaire au logiciel de référence.

L'objectif de cette première partie est donc de savoir si le logiciel d'analyse d'image Matlab, créé spécialement pour nos images, est acceptable dans notre étude c'est-à-dire s'il donne des résultats comparables au logiciel de référence. Pour cela, nous allons comparer les températures obtenues par le nouveau logiciel et par le logiciel de référence sur une population de chien donnée, hors compétition de La Grande Odyssée.

2. Matériel et méthode

2.1 Population contrôle

La population contrôle se compose de 8 chiens appartenant à des étudiants de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Dans un souci de clarté, les appellerons « chiens contrôle » dans la suite de l'étude.

2.1.1 Critères d'inclusion

Les chiens inclus dans l'étude sont des individus en bonne santé, sans maladie de l'appareil locomoteur connue et sans affection intercurrente. Un examen orthopédique à distance et rapproché vient confirmer l'absence de douleur ou boiterie le jour de la mesure. Par ailleurs il a été demandé aux propriétaires des chiens de les amener sans exercice physique préalable notable réalisé dans les 4 heures précédant les mesures.

2.1.2 Critères d'exclusion

D'après la littérature, un grand nombre de facteurs extérieurs peuvent empêcher, fausser ou biaiser l'acquisition des images thermographiques (The American Academy of Thermology 2019). Nous avons donc exclu de l'étude tout chien qui :

- présente une boiterie ou une douleur à un membre
- ne tolère pas la contention ou est trop stressé pour obtenir des images répétables

2.1.3 Commémoratifs des individus

Les informations essentielles définissant les chiens sont regroupées en 8 caractéristiques : le nom du chien, le nom du propriétaire, l'âge, le sexe, le statut reproducteur, la race, la longueur de poil et la couleur de robe. Le tableau regroupant ces données est disponible en Annexe 2.

Chaque propriétaire a donné son consentement éclairé oral avant inclusion dans l'étude et début des acquisitions.

2.2 Matériel nécessaire à la réalisation des clichés : caméra et réglages

La caméra thermique utilisée est la caméra « Fluke TiR » de la marque « Fluke Corporation », et est identique à celle utilisée lors de l'édition 2020 de La Grande Odyssée (Fauquet 2020). Conçue initialement pour les domaines du bâtiment et de la construction, elle est portable, facilement manipulable et résistante (figure 10). Les principales caractéristiques thermiques de la caméra sont détaillés en Annexe 3. Une carte mémoire permet d'enregistrer les images et de les transférer à posteriori vers un ordinateur.



Figure 10 : Caméra thermique utilisée et sa description

Source : Document produit de la marque « Fluke »

Après acquisition, on obtient une image composée d'un dégradé de couleur allant du blanc (zones les plus chaudes) au noir (zone les plus froides) (figure 11).

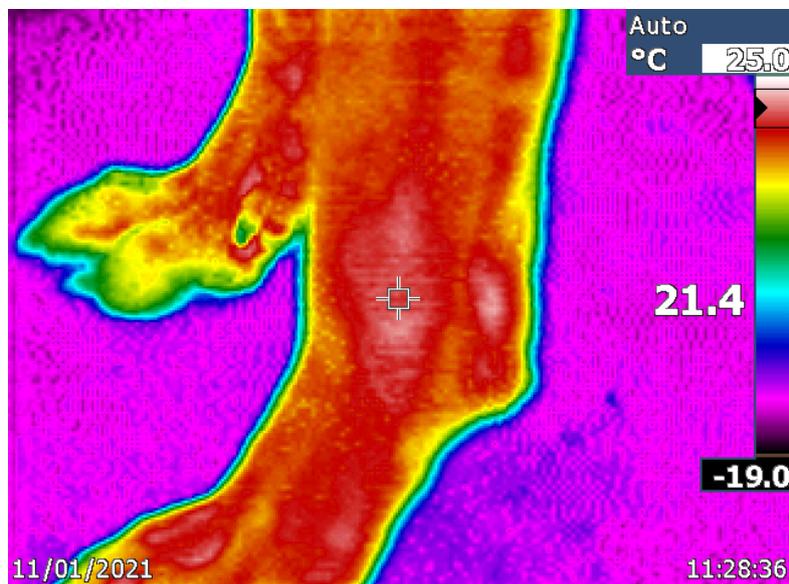


Figure 11 : Exemple d'image thermique d'un carpe gauche vue latérale

Source personnelle

2.3 Méthode

2.3.1 Acquisition des images

Pour chaque chien, nous avons réalisé 2 clichés par articulation, en vue crâniale et latérale pour chacun de leurs carpes, torses, mains et pieds : soit 16 clichés par série et par chien. Afin de standardiser au mieux les mesures, on effectue la vue crâniale de l'articulation distale en premier, puis la vue latérale. On gardera ce même ordre pour acquérir les images de l'articulation proximale et pour le membre controlatéral. De plus, deux séries de clichés ont été réalisées : une première série, en format « .ist », le format d'image thermique, analysable par le logiciel GRAYESS IRT; une seconde série, en format « .bpm », le format image classique, analysable par le logiciel MatLab®. Au total, nous obtenons donc 32 images, avec 16 de chaque format. Tous les clichés sont réalisés par la même personne, et il en sera de même pour leur analyse.

La caméra est placée entre 40 cm et 60 cm du membre, en fonction de la zone, de façon à ce que la région d'intérêt soit entièrement visible sur l'image. Elle est tenue perpendiculaire au sol. Une mise au point de l'objectif est effectuée avant chaque acquisition d'un cliché afin d'améliorer la qualité de l'image sur la zone cible. L'échelle de température est définie automatiquement par l'appareil afin d'avoir une homogénéité sur l'ensemble de nos clichés. De plus, nous avons choisi d'utiliser la palette RContraste car elle est, selon la bibliographie, la palette de couleur la plus adaptée pour détecter de faibles différences de couleurs (Ring, Ammer 2012) .

2.3.2 Traitement des images

Dans un premier temps, les images ont été analysées au format classique (.bpm) grâce au logiciel MatLab®.

Pour cela, on définit les températures maximale et minimale qui la composent grâce à l'échelle présente à droite de chaque image. Puis on définit la zone à analyser par un polygone qui délimitera l'articulation étudiée. Les polygones comprennent tous entre 10 et 20 points : pour les articulations avec peu de relief, comme les carpes, épaules, coudes, hanches, 10 points suffisent pour être suffisamment précis. De plus nombreux points sont souvent nécessaires pour les torses et les mains, car ces articulations présentent plus de relief. Les articulations sont toutes délimitées dans largeur entière du membre, sauf pour les articulations proximales (hanches et épaules) qui sont délimitées par des hexagones centrés sur la zone de l'articulation.

Après analyse, le logiciel Matlab nous donne le résultat sous la forme suivante (figure 12).

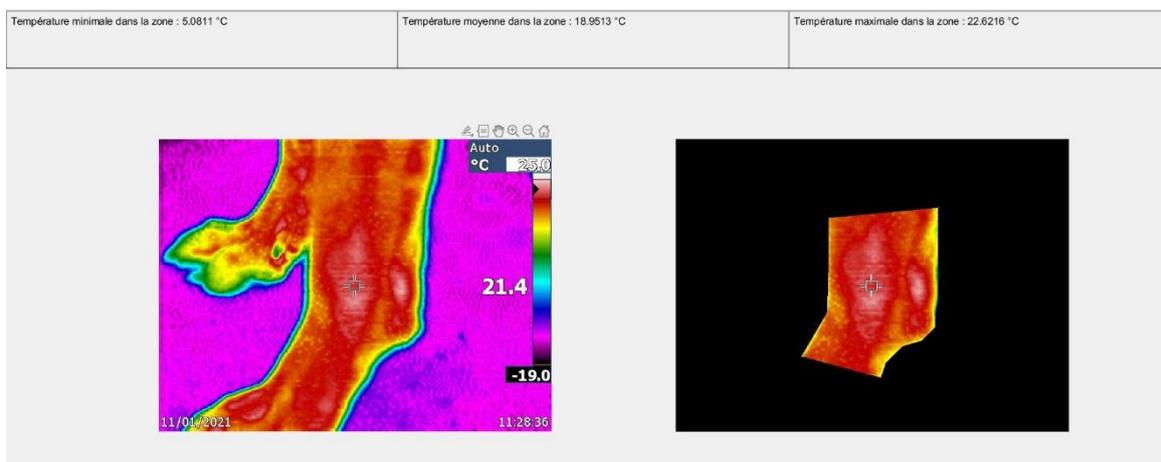


Figure 12 : Exemple de résultat visualisé après analyse MatLab

A gauche : image brute obtenue au format .bpm

A droite : polygone tracé à l'aide de 10 points pour sélectionner la zone d'intérêt

Source personnelle

Pour chaque cliché, le programme affiche comme résultat trois données distinctes : la température minimale (Tmin), la température maximale (Tmax) et la température moyenne (Tmoy) de la zone. Ces trois données sont alors reportées dans un tableau Excel, qui regroupe l'ensemble des trios de température de toutes les images thermiques obtenues (figure 13).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CHIEN	Carpe D vue craniale			Carpe D vue latérale			Carpe G vue craniale		
2		Tmin	Tmoy	Tmax	Tmin	Tmoy	Tmax	Tmin	Tmoy	Tmax
3	Copain	21,89	25,07	28,09	21,47	26,26	28,42	21,6	25,48	27,12
4	Kira	20,18	26	31,56	19,91	24,82	28,44	19,96	25,4	28,73
5	Lilo	19,35	27,72	30,37	20,76	28,99	31,73	21,18	26,99	29,51
6	Only	22,2	26,25	28,57	22,22	26,57	30,17	21,34	24,52	26,59
7	Peanuts	20,01	24,34	26,31	20,16	24,65	28,27	18,64	23,92	25,8
8	Pearl	22,85	28,13	30,61	23,41	29,98	33,26	21,79	28,72	31,89
9	Rolex	19,91	25,03	26,6	19,66	24,74	26,7	19,63	24,05	26,45
10	Roméo	21,75	25,35	30,37	22,72	26,46	29,35	22,2	25,58	31,09

Figure 13 : Exemple d'une partie du tableau regroupant l'ensemble des températures de surface relevées pour chaque articulation et chaque orientation des chiens tests (°C)

Tmin = Température minimale, Tmoy = Température moyenne, Tmax = Température maximale, D = droit, G = Gauche

Source personnelle

Dans un second temps, on analyse les images au format thermique (.ist) avec le logiciel GRAYESS IRT, correspondant à la caméra thermique. Pour cela, on ouvre l'image depuis le logiciel et on sélectionne la zone d'intérêt en la délimitant avec l'outil d'analyse « polygone ». Le nombre de points du polygone n'est cette fois pas à définir, on adapte simplement la forme à la zone de l'articulation d'intérêt.

Lorsque la zone est définie, on obtient l'affichage des trois températures d'intérêt : la température minimale, maximale et moyenne de la zone (figure 14). Elles sont à leur tour reportées dans un tableau Excel.

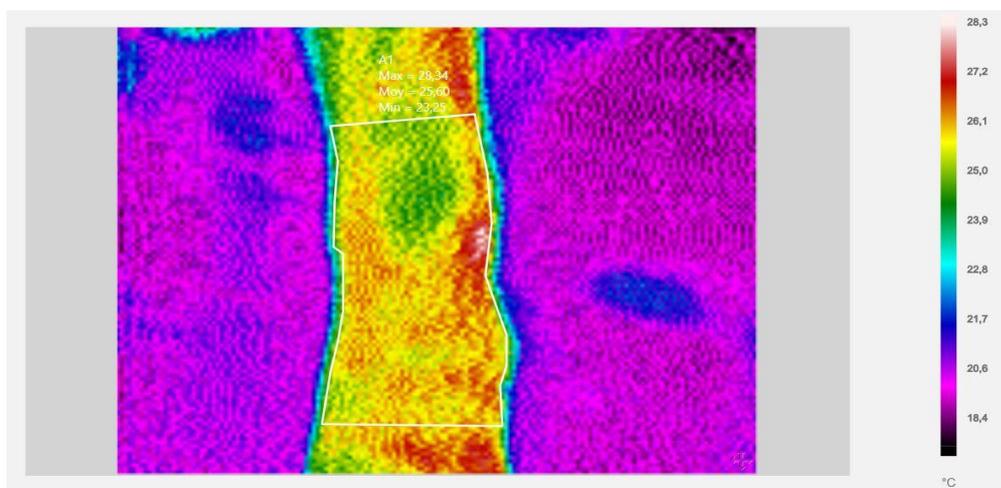


Figure 14 : Exemple de résultat visualisé après analyse avec le logiciel GRAYESS IRT
Le polygone est tracé en blanc et les températures minimales, moyennes et maximales apparaissent au-dessus du polygone
Source personnelle

On obtient ainsi 48 températures par chien contrôle et par méthode, soit 96 températures par chien au total.

2.3.3 Comparaison des deux méthodes et statistiques

Afin de tester la concordance des résultats entre le logiciel Matlab et le logiciel GRAYESS IRT, et déterminer l'acceptabilité de notre méthode d'analyse de l'image, nous avons utilisé principalement la méthode comparative de de Bland Altman. En effet, elle est décrite dans la littérature comme étant la méthode de référence pour comparer 2 méthodes (Giavarina 2015). Cette approche évalue la fiabilité d'une nouvelle méthode en analysant la précision et la justesse des valeurs. Elle permet également de les représenter par un graphique qui a pour ordonnée la différence entre les valeurs de la méthode de référence et la méthode testée, et pour abscisse la moyenne de ces deux valeurs. On considère la nouvelle méthode comme acceptable si plus de 95% des points du graphiques se situent

dans l'intervalle de confiance, si le biais est faible et si les différences obtenues sont cliniquement acceptables.

Au préalable, nous avons utilisé un test de Shapiro-Wilk pour tester la normalité des données, par articulation et de manière globale. Nous avons également testé l'homoscédasticité des données via un test de Levene. Puis chacune des températures obtenues (Tmin, Tmax, Tmoy) pour chaque méthode ont été comparées entre chaque articulation et sa controlatérale ainsi que qu'entre chaque incidence grâce à un test de Student. Les températures obtenues pour les articulations droites et gauches ont ensuite été rassemblées et les deux méthodes comparées entre elles grâce au test de Student apparié. Enfin le coefficient de corrélation a été calculé pour chaque température et une courbe de corrélation a été tracée. Un $p < 0.05$ a été défini comme seuil de significativité pour tous les tests statistiques. Le diagramme de Bland-Altman a été construit tel que précédemment décrit dans la littérature et analysé.

3. Résultats

3.1 Données démographiques

La population contrôle se compose au total de 8 chiens, âgés de 1,5 ans à 7 ans, comprenant 2 mâles pour 6 femelles, dont 6 individus stérilisés. On compte : 3 Golden Retrievers, et un individu de chacune des races Beagle, Labrador Retriever, Berger Australien, Braque de Weimar et enfin Rhodesian Ridgeback. La longueur des poils est répartie de manière équitable : 4 chiens ont les poils mi-longs et 4 ont les poils courts. Les robes sont sable, chocolat, fauve, merle, gris ou tricolore (Annexe 2).

Aucun chien ne présentait de critère d'exclusion.

3.2 Acceptabilité du logiciel MatLab®

Toutes les données suivaient une loi normale, qu'elles soient considérées dans leur ensemble, par groupes ou sous-groupes. Le test de Levene a également révélé une égalité des variances qui a permis de conduire les tests de Student entre les températures relevées par chacune des deux méthodes.

3.2.1 Comparaison des températures obtenues par articulation et par méthode

Pour chacune des deux méthodes, aucune différence significative de température minimale, maximale et moyenne entre les articulations droite et articulations gauche, ni entre les vues crânielles et vues latérales n'ont été détectées (figure 15,16). Dans ce contexte, on ne retrouve pas non plus de différence significative de température minimale, moyenne et maximale entre les articulations distales et proximales.

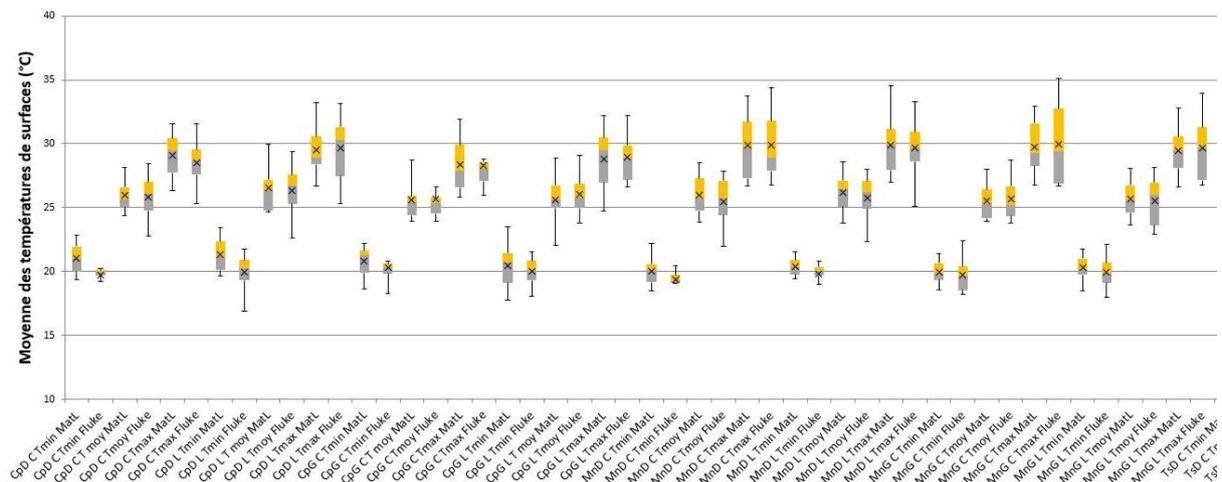


Figure 15 : Représentation graphique des températures de surface (moyenne \pm écart-type) des articulations du carpe et de la main du membre thoracique chez 8 chiens sains obtenue par les logiciels GRAYESS IRT et Matlab

*Cp = carpe, Mn = main, D = Droite, G = Gauche, C = vue crâniale, L = vue latérale
Tmin = Température minimale, Tmoy = Température moyenne, Tmax = Température maximale*

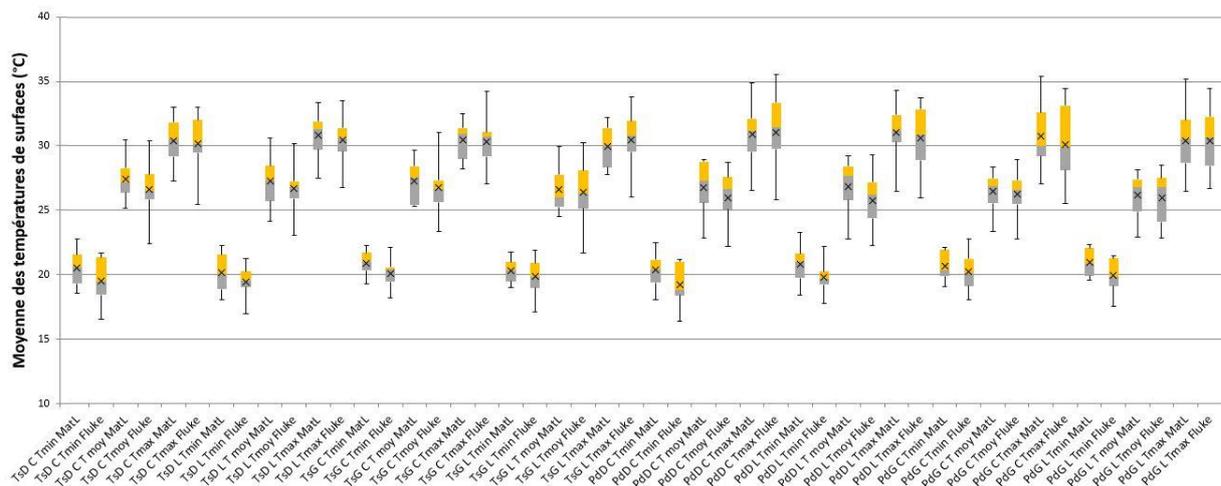


Figure 16 : Représentation graphique des températures de surface (moyenne \pm écart-type) des articulations du tarse et du pied du membre thoracique chez 8 chiens sains obtenue par les logiciels GRAYESS IRT et Matlab

*Ts = tarse, Pd = pied, D = droite, G = gauche, C = vue crâniale, L = vue latérale
Tmin = Température minimale, Tmoy = Température moyenne, Tmax = Température maximale*

Du fait de l'absence de différence significative de température entre articulations droites et gauches avec chacune des deux méthodes, les résultats obtenus ont été regroupés en analysés ensemble. A nouveau on ne retrouve pas de différence significative entre températures minimales, moyennes et maximales en vue crâniale ou vue latérale pour chacune des articulations, ni entre les méthodes pour chacune des vues. Une seule vue montre une différence de 1°C entre les deux méthodes ($p < 0.05$). Les résultats détaillés sont présentés en tableaux 1 à 4.

Articulation de la main	Vue crâniale			Vue latérale		
	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>
Méthode MatLab	20,00 ± 1,06	25,73 ± 1,57	29,80 ± 2,46	20,34 ± 0,94	25,93 ± 1,54	29,69 ± 2,22
Méthode GRAYESS IRT	19,56 ± 1,35	25,56 ± 1,82	29,95 ± 2,94	19,89 ± 1,11	25,66 ± 1,85	29,68 ± 2,47

Tableau 1 : Température (moyenne ± écart-type) de la main en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).
n= 16

* différence significative entre les valeurs de la méthode Matlab et celle de la méthode GRAYESS IRT, p -value < 0.05
† différence significative entre les températures en vue crâniale et latérale, p -value < 0.05

Articulation du carpe	Vue crâniale			Vue latérale		
	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>
Méthode MatLab	20,91 ± 1,23	25,78 ± 1,44	28,73 ± 2,08	20,88 ± 1,61	26,09 ± 2,01	29,18 ± 2,32
Méthode GRAYESS IRT	20,00 ± 1,37	25,77 ± 1,72	28,39 ± 2,00	19,97 ± 1,34	26,19 ± 1,92	29,30 ± 2,38

Tableau 2 : Température (moyenne ± écart-type) du carpe en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).
n= 16

* différence significative entre les valeurs de la méthode Matlab et celle de la méthode GRAYESS IRT, p -value < 0.05
† différence significative entre les températures en vue crâniale et latérale, p -value < 0.05

Articulation du tarse	Vue crâniale			Vue latérale		
	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>
Méthode MatLab	20,71 ± 1,23	27,32 ± 1,68	30,44 ± 1,69	20,24 ± 1,33	26,95 ± 1,98	30,39 ± 1,86
Méthode GRAYESS IRT	19,82 ± 1,55	26,68 ± 2,20	30,28 ± 2,20	19,66 ± 1,45	26,54 ± 2,31	30,47 ± 2,11

Tableau 3 : Température (moyenne ± écart-type) du tarse en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).
n= 16

* différence significative entre les valeurs de la méthode Matlab et celle de la méthode GRAYESS IRT, p -value < 0.05
† différence significative entre les températures en vue crâniale et latérale, p -value < 0.05

Articulation du pied	Vue crâniale			Vue latérale		
	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmoy</i>	<i>Tmax</i>
Méthode MatLab	20,51 ± 1,37	26,63 ± 1,95	30,83 ± 2,64	20,88 ± 1,31 *	26,53 ± 2,01	30,73 ± 2,54
Méthode GRAYESS IRT	19,72 ± 1,71	25,87 ± 2,32	30,59 ± 3,34	19,87 ± 1,31	25,85 ± 2,25	30,51 ± 2,63

Tableau 4 : Température (moyenne ± écart-type) du pied en fonction de l'orientation et de la méthode d'analyse (°C).
n= 16

* différence significative entre les valeurs de la méthode Matlab et celle de la méthode GRAYESS IRT, p -value < 0.05
† différence significative entre les températures en vue crâniale et latérale, p -value < 0.05

3.2.2 Corrélation entre les deux méthodes

De plus, pour chaque température (minimale, moyenne et maximale), les deux groupes de valeurs semblent corrélés. En effet les coefficients de corrélation r sont tous supérieurs à 0.5 comme l'illustrent les figures 17,18, 19 ci-dessous.

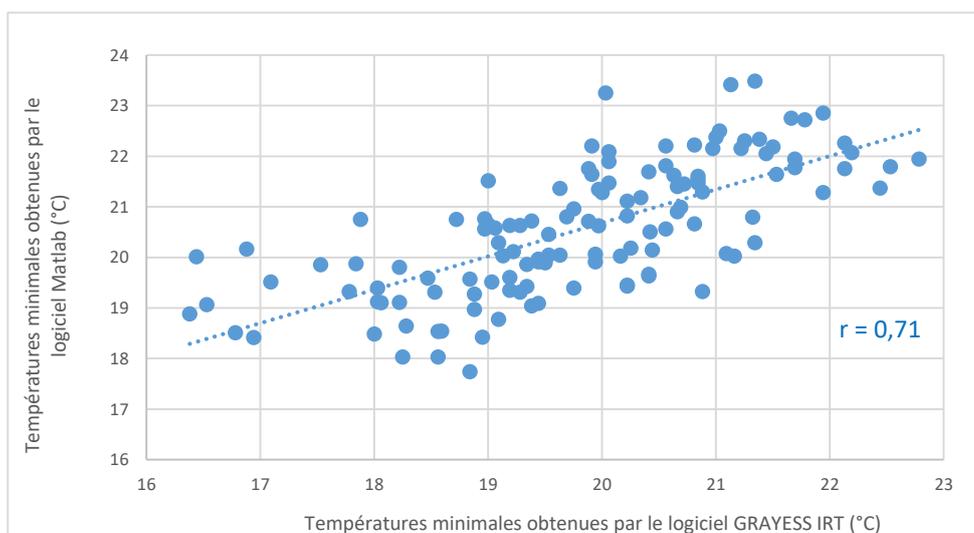


Figure 17: Relation entre les températures minimales obtenues par le logiciel Matlab et celles obtenues par le logiciel GRAYESS IRT
r = coefficient de corrélation

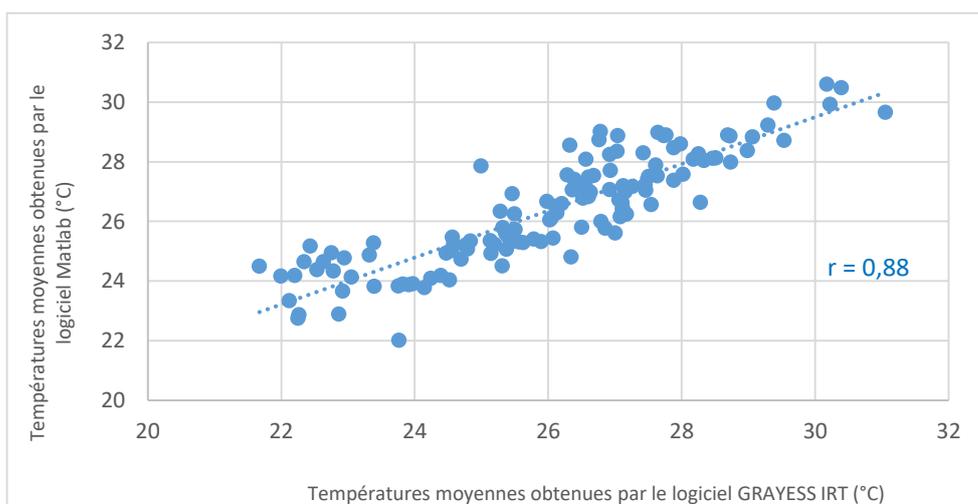


Figure 18: Relation entre les températures moyennes obtenues par le logiciel Matlab et celles obtenues par le logiciel GRAYESS IRT
r = coefficient de corrélation

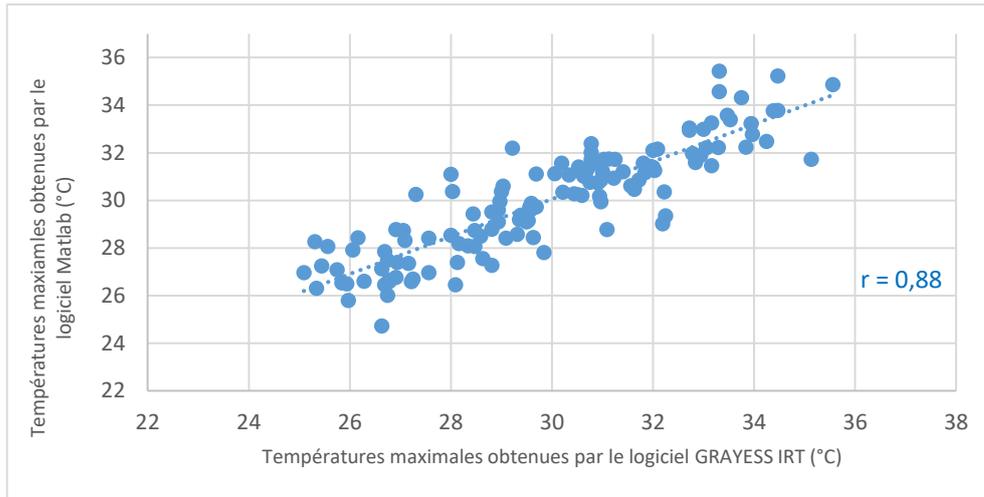


Figure 19: Relation entre les températures maximales obtenues par le logiciel Matlab et celles obtenues par le logiciel GRAYESS IRT
r = coefficient de corrélation

On remarque notamment que le coefficient de corrélation pour la température moyenne est de 0.88, soit très correct pour la suite de l'étude.

3.2.3 Comparaison par la méthode de Bland-Altman

Enfin, par la méthode de Bland-Altman nous avons obtenus pour les températures minimales, moyennes et maximales les résultats présentés en figures 20, 21, 22. Pour rappel, le biais correspond à la différence moyenne entre les deux mesures, nous permet d'évaluer la justesse des valeurs : plus sa valeur sera proche de zéro, plus la nouvelle méthode donnera des valeurs justes. Dans les 3 cas les biais sont très faibles : ils sont tous compris entre 0 et -1°C, ce qui est dans notre cas tout à fait acceptable. De plus, les limites de concordances permettent d'évaluer la précision des valeurs. Ainsi, si 95 % des valeurs sont comprises entre la limite de concordance haute et la limite de concordance basse, alors la nouvelle méthode produit des valeurs peu dispersées, et donc précises. On observe que dans les 3 cas également, plus de 95 % des valeurs sont comprises entre la limite haute et la limite basse de concordance. On en conclut que la précision et la justesse de notre nouvelle méthode sont toutes deux acceptables pour les analyses à venir.

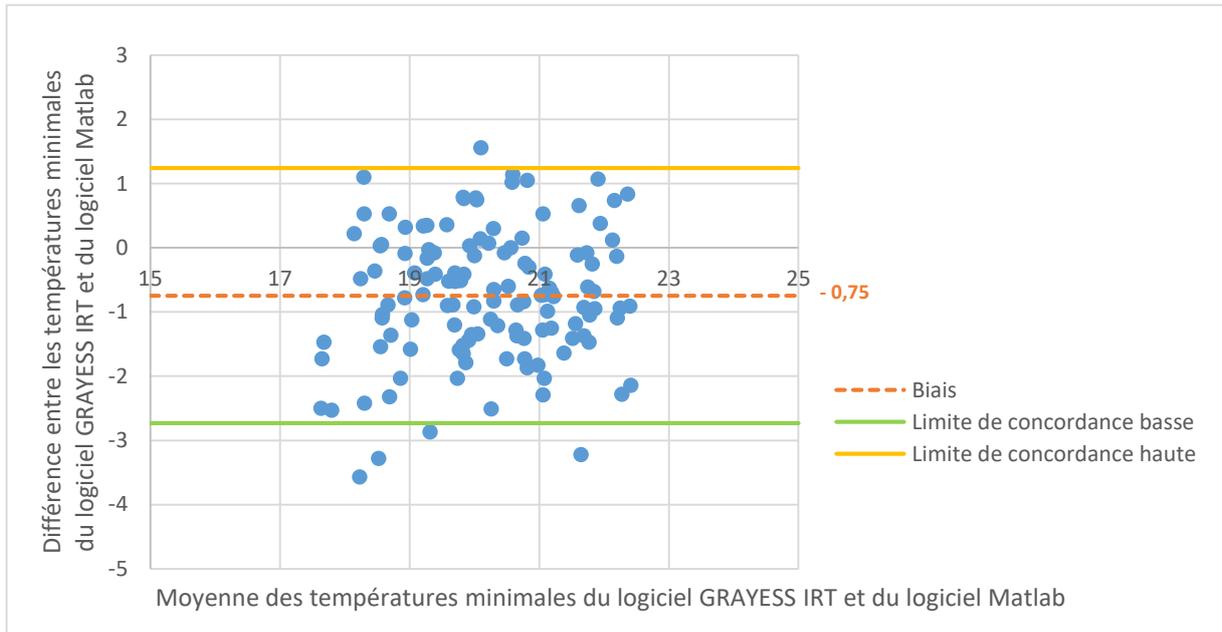


Figure 20: Comparaison des températures minimales du logiciel GRAYESS IRT et du logiciel Matlab par la méthode de Bland-Altman

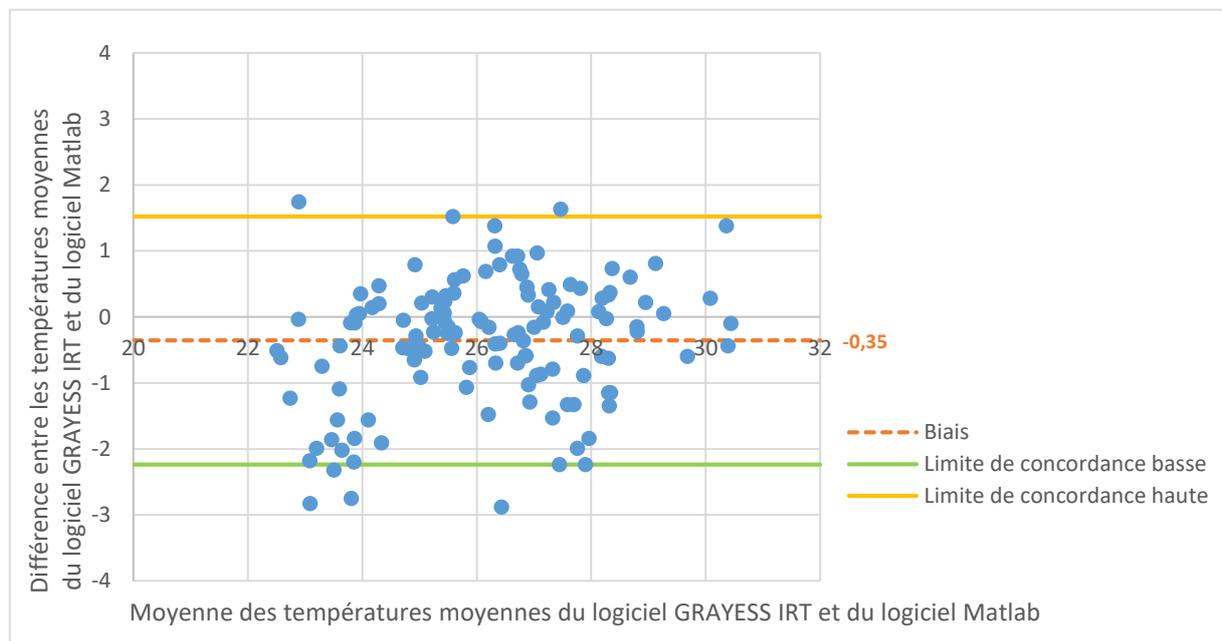


Figure 21: Comparaison des températures moyennes du logiciel GRAYESS IRT et du logiciel Matlab par la méthode de Bland-Altman

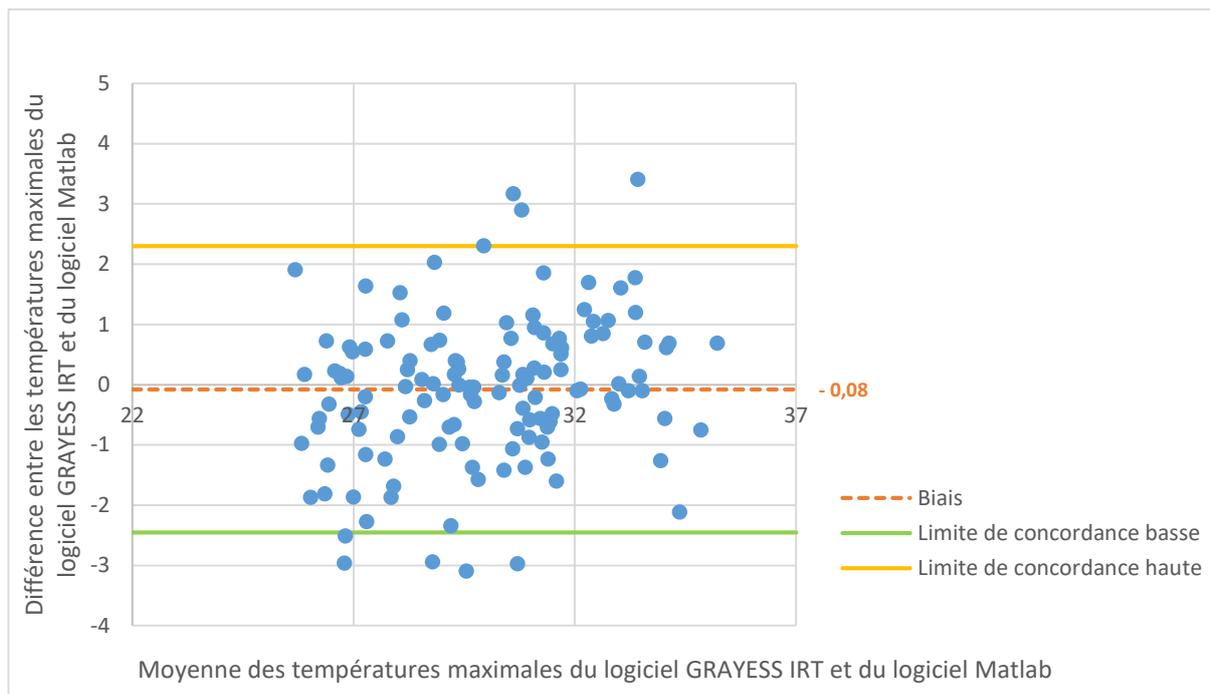


Figure 22 : Comparaison des températures maximales du logiciel GRAYESS IRT et du logiciel Matlab par la méthode de Bland-Altman

4. Discussion et conclusion

La méthode d’analyse des images utilisée dans cette étude n’est pas la méthode recommandée par le fabricant de la caméra thermique. Le format d’image « .bpm » a été choisi afin de pouvoir trier par date, heure et individu l’ensemble des clichés effectués durant la journée. Or le logiciel thermique ne peut pas analyser une image « .bpm », et nous avons donc dû créer un logiciel adapté à l’aide de MatLab®.

Nous avons montré grâce à la méthode de Bland Altman notamment, qu’il n’y a pas de différence significative entre les valeurs produites par le logiciel Matlab et les valeurs du logiciel de référence GRAYESS IRT. Le biais, compris entre -0.08 et -0.75 pour chacune des trois températures d’intérêt, est très faible et les limites de concordances acceptables. Le nouveau logiciel produit donc des valeurs fiable, et nous pourrons ainsi nous servir du logiciel MatLab® comme substitut du logiciel GRAYESS IRT® fourni avec la caméra, pour analyser les images thermiques dans la suite de l’étude sur les chiens de course, en particulier pour la température moyenne.

PARTIE B : Etude thermographique des articulations des chiens de traîneaux de la Grande Odysée Savoie Montblanc 2021

1. Objectifs de l'étude

Nous rappelons que l'objectif de cette étude est de déterminer si, lors de lésions d'origine ostéo-articulaires chez le chien de traîneau, l'utilisation de l'imagerie thermique par infrarouge est un outil diagnostique pertinent. En particulier lors de boiterie, la thermographie est-elle capable de détecter, via des différences de température, une zone lésée qui serait difficile à localiser au simple examen clinique ?

Dans la continuité des résultats obtenus lors de l'édition 2020 (Fauquet 2020), nous avons émis l'hypothèse de la présence d'une différence significative de température entre une articulation lésée et l'articulation controlatérale saine dans le cas d'une lésion articulaire localisée et cliniquement décelable. En revanche, dans le cas d'une lésion inflammatoire diffuse, on suppose que la différence de température ne sera pas ou peu visualisée.

2. Matériel et méthode

2.1 Population course

2.1.1 Critères d'inclusion

La population étudiée lors de la course est composée de chiens participant à La Grande Odysée 2021. Au total, près de 600 chiens de traîneaux ont participé à la compétition. Lors de leur entrée sur l'espace canin le premier jour de la course, chaque chien est soumis à un contrôle vétérinaire d'admission qui permet de certifier la bonne santé et l'aptitude du chien à participer à la compétition, grâce à un examen clinique et un examen orthopédique complets.

Ainsi sont inclus dans l'étude les individus ayant été considérés aptes à concourir à leur entrée en course et ayant développé une boiterie durant la participation à la compétition, ou pour lesquels une affection ostéo-articulaire a été détectée ou fortement suspectée à la suite d'un examen orthopédique approfondi, pour baisse de performance, fatigue en course ou refus de tirer par exemple. Cette inclusion a également été faite suite au consentement du musher pour participer à l'étude. En effet, afin de s'assurer du bon déroulement et de la compréhension de l'étude, chaque

musher a été informé oralement et individuellement durant l'admission des équipes dans la compétition.

Dans un souci de clarté, cette population sera appelée « chiens course » dans la suite de notre étude.

2.1.2 Critères d'exclusion

Comme précisé pour la population contrôle, un grand nombre de facteurs extérieurs peuvent empêcher, fausser ou biaiser l'acquisition des images thermographiques (The American Academy of Thermology 2019). Nous avons donc exclu de l'étude tout chien qui :

- présentait un membre sale, mouillé, un bandage, un produit topique, ou tout autre élément extérieur sur le membre d'intérêt
- était au soleil durant plus de 5 minutes avant l'acquisition
- était couché depuis plus de 5 min avant l'acquisition
- a reçu des manipulations (séance d'ostéopathie, contention prolongée) dans les 12 heures avant l'acquisition
- a effectué un exercice physique important dans les 24 heures avant l'acquisition

Dans tous les cas, les artefacts rencontrés qui pourraient potentiellement biaiser les mesures sont répertoriés dans le tableau « Condition des clichés » (Annexe 4) et ces précisions seront prises en compte dans la mesure du possible lors de l'interprétation des résultats.

2.1.3 Commémoratifs des individus

Lors de chaque acquisition d'image thermique, différentes données sont récoltées concernant l'animal et ses conditions de courses :

- conditions environnementales : date, heure, type de sol, conditions météorologiques (précipitations, puissance du vent, qualité de la neige, température extérieure...) Annexe 5
- animal : comportement, délai entre la date de la blessure et la date de prise du cliché (détaillés dans le tableau Annexe 4, âge, sexe, statut reproducteur (stérilisation), race, longueur de poil et couleur sont tous répertoriés, et pour chaque chien, dans le tableau Annexe 6.

2.2 Matériel nécessaire à la réalisation des clichés : caméra et réglages

La caméra et les réglages sont les mêmes tout au long de notre étude : se référer au paragraphe 2.2 de la Partie A.

2.3 Méthode

2.3.1 Examens clinique, orthopédique et suivis

Avant de débiter l'acquisition des clichés, un examen clinique est effectué par un vétérinaire de l'équipe : fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, aspect des muqueuses et temps de recoloration capillaire. Une attention particulière est portée à la détection d'une douleur, d'une gêne ou d'une boiterie potentielle. En cas de signe de douleur, une évaluation du score de douleur est alors réalisée et répertoriée : elle est évaluée selon la grille présentée en Annexe 7. Toute autre anomalie rencontrée est également notée. L'examen clinique est complété par un examen orthopédique approfondi (grille disponible en Annexe 8) et des examens complémentaires tels que la radiographie ou l'échographie selon les cas. Toutes ces informations sont regroupées par individu dans les tableaux Annexe 9 et 10.

2.3.2 Acquisition des images

Lorsqu'une boiterie et/ou douleur à la manipulation d'un membre est détectée chez un chien, et après respect du temps de repos nécessaire après course (minimum 2 heures) et réalisation des examens cliniques, orthopédiques et complémentaires des clichés thermographiques sont réalisés après nouvel accord oral du musher, sous réserve que les critères d'exclusion soient respectés.

On réalise un cliché thermique de l'articulation lésée, ainsi que de son articulation proximale et distale. On effectue les mêmes clichés sur le membre controlatéral. Ces clichés permettront le traitement des images de base pour chaque animal, au premier jour de l'affection, que nous appellerons J0.

Chaque articulation est photographiée en 1, 2 ou 3 vues selon sa localisation :

- mains, pieds, épaules : deux vues - une crâniale et une latérale.
- carpes, tarses, coudes et grassets : trois vues - une crâniale, une latérale et une caudale.
- hanches : une vue latérale.

Le choix de ces vues a été défini en fonction de l'anatomie et de la pertinence de leur interprétation.

La vue crâniale est effectuée toujours en premier, puis la latérale, et enfin la caudale sur l'articulation lésée. On garde ce même ordre pour acquérir les images de l'articulation distale, puis proximale, et pour le membre controlatéral. Cette démarche systématisée permet de ne pas oublier de vue, de conserver des distances similaires entre les clichés, et d'acquérir l'ensemble des images rapidement (Fauquet 2020).

Dans la mesure du possible, un suivi sera effectué 24 heures après, en suivant les mêmes étapes (J1) puis 48 heures après (J2) en cas de non résolution des symptômes.

2.3.3 Traitement des images

Les images thermiques sont acquises au format « .bpm » et ont donc nécessité le recours au codage sur logiciel MatLab® pour en extraire les températures de surfaces de chaque articulation photographiée. La méthode d'extraction des températures est la même que celle décrite dans la Partie A – Paragraphe 2.3.2 – « Traitement des images ».

Pour une lésion au niveau du carpe par exemple, on aura relevé :

- Les températures (Tmin, Tmoy et Tmax) de chacune des 3 vues (crâniale, caudale et latérale) de l'articulation lésée (le carpe) et de l'articulation controlatérale.
- Les températures (Tmin, Tmoy et Tmax) de chacune des 2 vues (crâniale et latérale) de l'articulation distale (la main) et de l'articulation controlatérale.
- Les températures (Tmin, Tmoy et Tmax) de chacune des 3 vues de l'articulation proximale (le coude) et de l'articulation controlatérale.

Au total, un thermogramme complet pour un chien présentant une lésion de carpe comprend 16 images thermiques, soit 48 températures. Il en est de même pour un chien présentant une lésion du tarse et du coude (16 images soit 48 températures). Pour une lésion du grasset on aura 14 images soit 42 températures, et pour une lésion de la main, du pied ou de l'épaule on aura 10 images soit 30 températures. Enfin, pour une lésion de la hanche on aura 8 images, soit 24 températures.

La figure suivante représente un relevé de températures pour un thermogramme complet pour un chien présentant une lésion au carpe droit :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	CHIEN	Carpe D vue caudale			Carpe D vue craniale			Carpe D vue latérale			Carpe G vue caudale		
2	Nazgul	-5,88	5,6	21,63	3	10,6	15,19	-5,06	7,7	16,78	-3,25	6,71	20,72
	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
1	Carpe G vue craniale			Carpe G vue latérale			Main D vue craniale			Main D vue latérale			
2	4,88	9,71	15,5	-4,22	9,53	20,72	-6,78	7,08	18,91	-9,75	3,7	16,19	
	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	
1	Main G vue craniale			Main G vue latérale			Coude D vue caudale			Coude D vue craniale			
2	-5,88	6,51	23,13	-6,72	5,07	15,28	-1,16	12,26	19,78	7,19	17,76	28,09	
	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	
1	Coude D vue latérale			Coude G vue caudale			Coude G vue craniale			Coude G vue latérale			
2	-5,72	13,3	20,63	-1,63	11,77	19,44	5,41	14,71	25,28	-4,69	13,47	21	

Figure 23 : Exemple de relevé complet mis en format Excel® des températures pour un chien avec une lésion au carpe droit (°C)

D : droit, G : gauche

Pour exemple, une partie des images constituant le thermogramme d'un carpe est disponible en Annexe 11.

2.3.4 Traitement des données, paramètres mesurés et comparés

2.3.4.1 Traitement des températures brutes

Une fois tous les thermogrammes obtenus grâce au code MatLab®, les moyennes des Tmin, Tmoy et Tmax pour les mesures à J0, J1 et J2 ont d'abord été comparées entre membre lésé et membre controlatéral, de manière globale (toute articulation confondue), puis par groupes et sous-groupes, les articulations saines du même côté jouant le rôle de groupe contrôle.

2.3.4.2 Traitement des différences de températures entre membre lésé et membre controlatéral

Étant donné qu'il est prouvé qu'un certain nombre de facteurs environnementaux affectent la température de surface obtenue par thermographie et que nous avons notamment observé dans l'étude de 2020 un effet notable de la température extérieure, nous avons choisi de mener le reste des comparaisons sur le différentiel de température de surface entre membre lésé et membre controlatéral en partant du principe qu'une lésion d'une articulation se traduirait par une différence de température significativement plus grande entre membre sain et membre lésé par rapport à la différence de température observées sur les articulations adjacentes.

Nous avons donc pour chaque température obtenue fait le différentiel (appelé Diff) entre température du côté dit lésé et du côté dit sain. Puis nous avons comparé les moyennes de Diff(Tmin), Diff(Tmoy) et Diff(Tmax) pour les mesures à J0, J1 et J2 de manière globale (toute articulation confondue), puis par groupes (selon l'orientation des prises de vues) et sous-groupes (selon le type d'articulation –« lésée », « proximale » et « distale »- et la localisation précise de l'articulation).

Par la suite, du fait de la meilleure pertinence de Tmoy pour l'évaluation des températures de surface d'une articulation que nous avons confirmé dans le travail de 2020 (Fauquet 2020), nous n'avons continué le reste des comparaisons que sur Diff(Tmoy).

Ainsi nous avons comparé à J0 les Diff(Tmoy) entre articulation lésée, son articulation proximale et son articulation distale par groupes selon les vues abordées puis de manière globale en regroupant toutes les vues. Nous avons également fait de même à J1 et J2.

Nous avons répété les mêmes comparaisons pour les sous-groupes par localisation de lésion suivantes : épaule, carpe, coude, main, hanche, grasset, tarse, pied.

Nous souhaitons également comparer l'évolution des températures dans le temps en comparant Diff(Tmoy) des différentes articulations entre J0, J1 et J2.

2.3.4.3 Statistiques

Chaque groupe de données a d'abord été traité à l'aide de statistiques descriptives simples.

Puis le test de Shapiro-Wilk a été utilisé pour évaluer la normalité des données. Il s'est avéré que toutes nos variables d'intérêts suivaient une loi normale à J0, et ont donc été comparées grâce à des tests paramétriques. Nous avons testé l'homoscédasticité des données via un test de Levene. Un test de Student apparié et une ANOVA univariée ont été utilisées pour comparer les températures brutes tandis que des tests du Student indépendants, ANOVA uni et multivariées ont été utilisés pour comparer les différences de températures moyennes, de manière globale et par groupes et sous-groupes respectivement. Une p-value $\leq 0,05$ est considérée comme significative. Un test post-hoc de Dunnett associé à une correction de Bonferroni a été appliqué si nécessaire.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide des logiciels Real Statistics Using Excel® (Real Statistics Resource Pack software (Release 6.2). Copyright (2013 – 2019) Charles Zaiontz) et R® (R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

3. Résultats

3.1 Données démographiques

3.1.1 Commémoratifs

Au total, 16 chiens ont été inclus dans l'étude, âgés de 8 mois à 10 ans. On y compte 4 femelles et 12 mâles, dont 2 femelles et 2 mâles stérilisés. Les 3 races les plus courantes en course de chien de traîneau sont représentées : 8 Huskys sibériens, 7 Eurohounds et 1 Alaskan husky soit 7 chiens à poils courts et 9 chiens à poils longs. Le gris, le blanc et le noir sont les couleurs les plus représentées avec 14 chiens portant une ou plusieurs de ces 3 couleurs, dont un merle. Les 2 chiens restant sont de robe fauve et sable (Annexe 6).

3.1.2 Examen clinique

Chacun des examens cliniques effectués avant la série de clichés a révélé des constantes vitales sans anomalie, avec des fréquences cardiaques et respiratoires normales, des muqueuses roses et humides, un temps de recoloration capillaire inférieur ou égal à 2 secondes et une température normale.

Tous les mushers dont les chiens répondaient aux critères d'inclusion ont accepté de participer à l'étude.

3.1.3 Examen orthopédique

On dénombre au total 12 atteintes des membres thoraciques, contre 5 atteintes des membres pelviens, sachant qu'un des chiens a montré simultanément une douleur à un membre thoracique et à un membre pelvien. Représentées à près de 71 %, les blessures aux membres thoraciques sont donc ici plus nombreuses que les blessures aux membres pelviens de façon marquée. De plus, parmi les 12 atteintes des membres thoraciques dénombrées, 5 concernaient l'articulation du carpe, soit un peu plus de 38 %. Le reste des atteintes des membres thoraciques sont moins représentées : les articulations de la main et du coude sont atteintes de manière équivalente (3 cas chacune) et l'articulation de l'épaule une seule fois. Les atteintes des articulations du membre pelvien ne représentent que 3 lésions, dont 2 deux atteintes du tarse et une atteinte du grasset.

De plus, des cas particuliers sont apparus lors de l'examen orthopédique :

- un chien a présenté une atteinte simultanée du carpe et du coude : les deux articulations ont donc été considérées comme lésées lors des statistiques
- deux chiens ont présentés des contractures et non pas une atteinte articulaire comme suspecté à l'examen clinique. Ces chiens ont donc été exclus des calculs statistiques dans les parties qui suivent, puisque ne présentant pas d'atteinte ostéo-articulaire.

Les principaux signes cliniques observés parmi les 16 cas sont : une boiterie présente dans 60% des cas, un gonflement dans 40% des cas, des défauts de mobilisation (extension ou flexion) dans 53% des cas, et de la chaleur dans 27 % des cas.

Enfin, un score de douleur a été mesuré lors de chaque examen orthopédique : sur une échelle de 0 à 9, les valeurs ne dépassent pas 7/9. Cette valeur, la plus élevée, correspond au chien présentant de multiples contractures musculaires (membres thoracique et pelvien). Six de ces scores ont été mesurés à 0, soit la note minimale qui correspond à l'absence de douleur.

L'ensemble des informations décrites ci-dessus sont rassemblées dans le tableau de l'Annexe 9.

3.1.4 Suivis, examens complémentaires et traitements mis en place

Parmi les 16 chiens, 6 chiens n'ont pas eu de suivi thermographique (un seul jour de mesure), 8 chiens ont été suivis durant 1 jour et 2 chiens ont été suivis durant 2 jours.

De plus, certains chiens ont bénéficié d'examens complémentaires tels que la radiographie, l'échographie ou un examen d'ostéopathie. Parmi les 16 chiens inclus dans l'étude, 9 ont eu au moins un examen complémentaire, et 3 chiens en ont eu 2 (radiographie et échographie ou radiographie et séance d'ostéopathie). Parmi ces 9 chiens, 6 ont bénéficié d'une radiographie (67%), 4 ont bénéficié d'une échographie (44%) et 2 ont bénéficié, à la suite de l'examen orthopédique, d'une séance d'ostéopathie (22%). La radiographie est donc l'examen privilégié lors d'atteintes ostéo-articulaires.

Un traitement a parfois été mis en place à la suite du diagnostic : manipulations ostéopathiques, physiothérapie, pansement, application de gel à effet anti-inflammatoire ou encore mise en place de bottines. Lorsque la mise en place de traitement à base de molécules considérées comme dopantes est nécessaires, le chien est exclu de la compétition. Au total, 3 chiens ont été contraints d'arrêter la course à la suite d'une lésion ostéo-articulaire. Les résultats de ces examens et le détail des traitements sont présentés dans le tableau de l'Annexe 10.

3.2 Températures brutes à J0

Suite à l'inclusion de 16 chiens à J0 dont seulement 8 ont pu être suivis à J1 et 2 à J2 et à l'hétérogénéité des lésions, l'analyse statistique complète et les comparaisons n'ont pu être réalisées que sur les mesures à J0. Les résultats de J1 et J2 n'étant pas cliniquement pertinents, ils ne seront pas présentés. Pour les mêmes raisons, le suivi des lésions et la comparaison des températures obtenues entre J0, J1 et J2 n'a pu être réalisée.

3.2.1 Statistiques descriptives

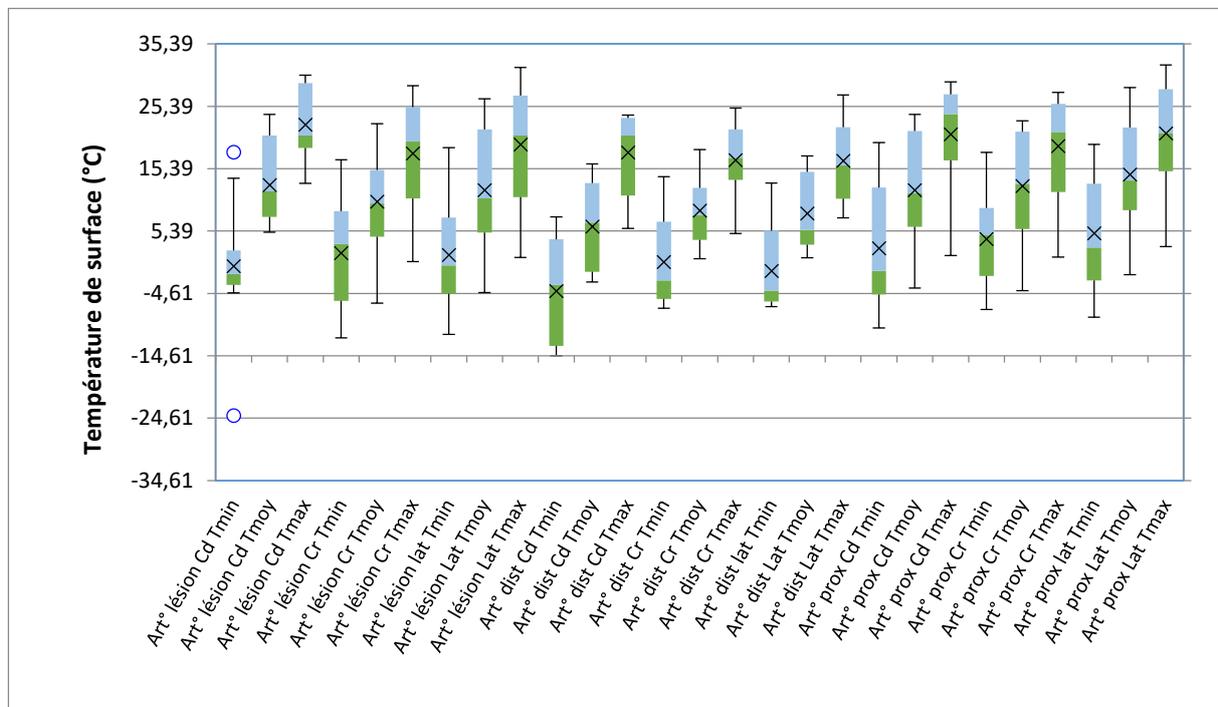


Figure 24 : Représentation graphique des températures de surfaces (moyennes ± écart-type) du membre sain par vue, à J0 (C°).

Art° = articulation, Cd = vue caudale, Cr = vue crâniale, Lat = vue latérale, dist = distale, prox = proximale, Tmin = température minimale, Tmoy = température moyenne, Tmax = température maximale

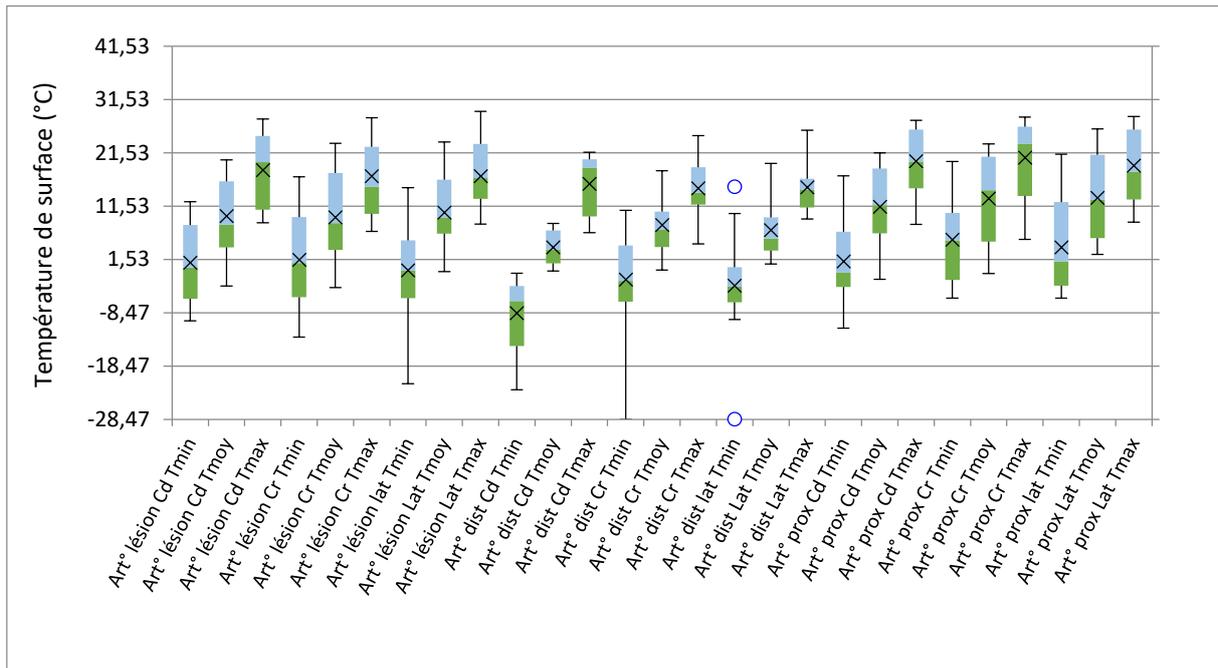


Figure 25 : Représentation graphique des températures de surfaces (moyennes \pm écart-type) du membre lésé par vue, à 10 (C°).

Art° = articulation, Cd = vue caudale, Cr = vue crâniale, Lat = vue latérale, dist = distale, prox = proximale, Tmin = température minimale, Tmoy = température moyenne, Tmax = température maximale

On remarque des températures de surface minimales, moyennes et maximales, quasi similaires pour toutes les articulations et toutes les vues (figure 24 et 25). Toutes suivent une loi normale.

Nous présentons en tableau 5 le détail chiffré de températures moyennes de surface de l'articulation lésée et en tableau 6 celles de l'articulation saine. En effet, Tmoy étant la donnée du thermogramme la plus pertinente cliniquement, elle sera notre point d'intérêt majoritaire pour le reste de l'étude.

Articulation	Lésée			Distale			Proximale		
	Caudale	Crâniale	Latérale	Caudale	Crâniale	Latérale	Caudale	Crâniale	Latérale
Moyenne	9,68	9,40	10,30	3,76	7,96	7,03	11,37	12,94	13,07
Ecart-type	7,40	8,26	7,40	3,38	5,45	5,60	7,47	8,15	7,99

Tableau 5 : Températures de surface moyennes (moyennes \pm écart-types) du membre lésé par vue à 10

Articulation	Lésée			Distale			Proximale		
	Caudale	Crâniale	Latérale	Caudale	Crâniale	Latérale	Caudale	Crâniale	Latérale
Moyenne	12,77	10,10	11,95	6,11	8,68	8,20	11,97	12,61	14,44
Ecart-type	6,82	8,77	9,17	7,54	5,72	5,98	9,03	8,52	8,51

Tableau 6 : Températures de surface moyennes (moyennes \pm écart-types) du membre sain par vue à 10

3.2.2 Comparaison des températures moyennes entre membre lésé et son controlatéral

3.2.2.1 Toute articulation confondue

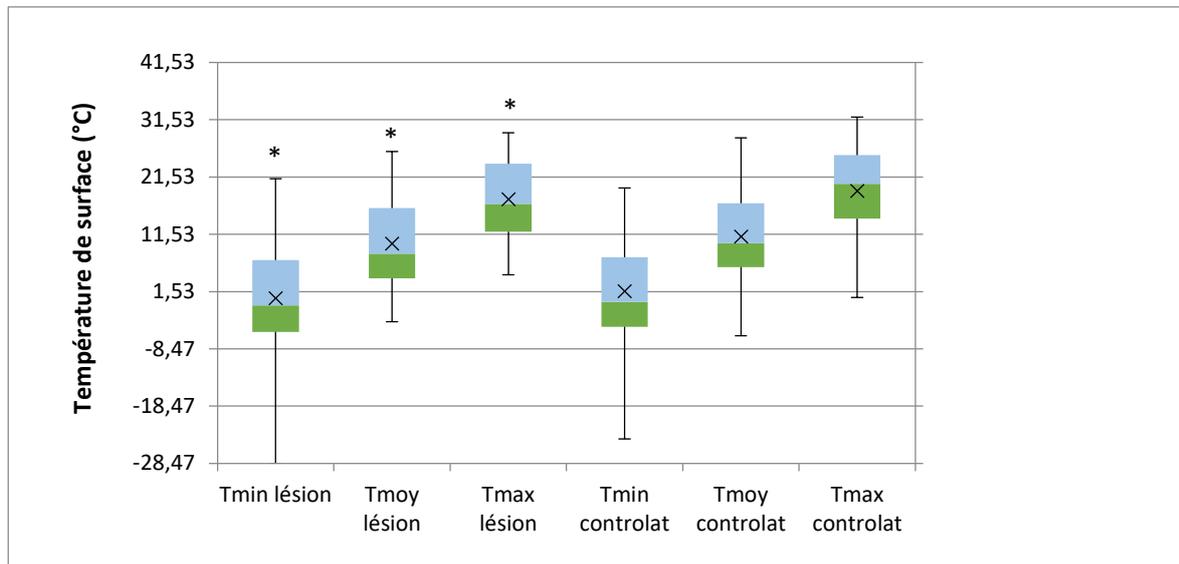


Figure 26 : Représentation graphique des températures de surfaces (moyennes ± écart-type) de la comparaison entre membre lésé et son controlatéral, toute articulation confondue à J0 (°C).

Tmin = température minimale, Tmoy = température moyenne, Tmax = température maximale, controlat = articulation controlatérale

** différence significative entre les températures de surface du membre lésé et de son controlatéral. p-value < 0.05*

Après comparaison par paire des températures minimales, maximales et moyennes de toutes les articulations, le membre lésé est en moyenne plus froid de $1,22 \pm 5,30$ °C pour la température minimale, de $1,18 \pm 3,35$ °C pour la température moyenne et de $1,48 \pm 4,90$ °C pour la température maximale que le membre sain. Les écarts-types étant larges, cette différence statistiquement significative semble peu pertinente cliniquement (figure 26).

3.2.2.2 Par articulation

Après comparaison par paire des températures de surface moyennes par groupes d'articulations lésée, proximale et distale, on remarque que cette différence significative entre côté lésé et côté sain ne se retrouve qu'au niveau des articulations lésée et distale et disparaît pour l'articulation proximale (tableau 7). Ainsi la température moyenne de l'articulation lésée du côté lésé est en moyenne plus froide de $1,7 \pm 3,75$ °C que sa controlatérale, tandis que l'articulation distale du côté lésé est en moyenne $2,86 \pm 6,59$ °C plus froide que sa controlatérale ($p < 0.05$). Une fois de plus, les écarts-types étant larges, cette différence statistiquement significative semble peu pertinente.

Tmoy	Articulation lésée	Articulation distale	Articulation proximale
Coté membre lésé	9,81 ± 7,54*	6,85 ± 5,28*	12,58 ± 7,82
Controlatéral	11,49 ± 8,32*	8,04 ± 5,99*	13,14 ± 8,45

Tableau 7 : Températures de surface moyennes des articulations lésée distale et proximale du membre du coté lésé et de son controlatéral (moyenne ± écart-type) à J0 (°C). n= 14

** différence significative entre les températures de surface du membre lésé et de son controlatéral. p- value<0.05*

† différence significative entre les températures de surface de l'articulation lésée, distale et proximale. p- value<0.05

De plus, lorsque l'on compare les températures entre côté lésé et côté sain par articulation ensemble par la méthode d'ANOVA à deux facteurs, on obtient aucune différence significative entre les températures du membre lésé et de son controlatéral, sur aucune articulation.

On remarque cependant une tendance à l'augmentation de la température du sol (articulation distale) vers le centre du corps (articulation proximale) pour les deux côtés considérés.

Etant donné que le qualificatif « articulation lésée » peut tout autant désigner une main, un carpe ou encore un grasset par exemple, dont les températures de surface sont généralement très différentes mais également afin de limiter les biais extérieurs tels que la température, nous avons poursuivi le reste de l'étude par la comparaison des différences de températures relevés entre une articulation et sa controlatérale. Pour des raisons de simplicité, nous ne présenterons que les résultats sur les températures moyennes, tous ceux sur les températures minimales et maximales y étant comparables.

3.3 Différences de températures moyennes à J0

3.3.1 Statistiques descriptives

La figure 27 représente sous forme de boîtes à moustaches l'ensemble des différences de températures relevés à J0. Toutes suivent une loi normale.

Concernant les différences de températures de surface, beaucoup des moyennes sont négatives ou proches de zéro ce qui démontre ici encore une tendance à la neutralité thermique entre membre lésé et membre sain quelles que soient l'articulation et la vue considérées. Lorsque cette différence existe, l'articulation lésée semble donc en majorité plus froide que l'articulation saine. On

retrouve cette même tendance sur les articulations distales et proximales à celle de la lésion diagnostiquée.

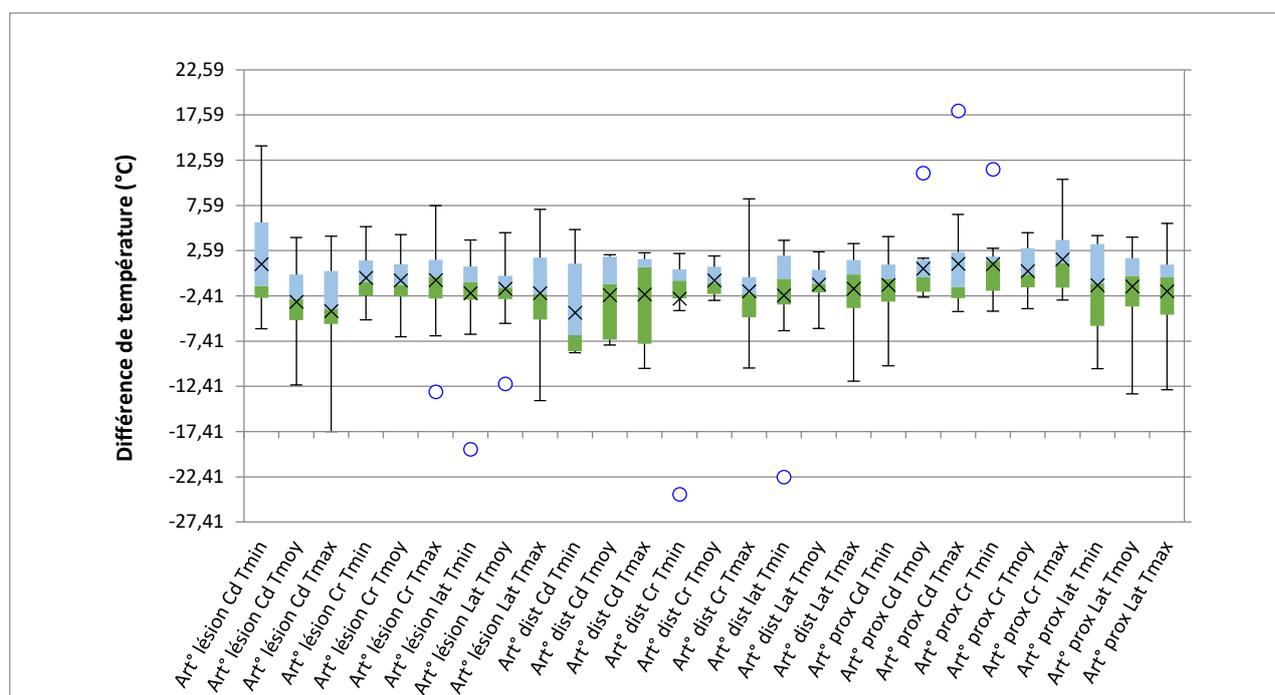


Figure 27 : Représentation graphique des différences de températures de surfaces (avec moyennes ± écart-type) des articulations lésées, distales et proximales par vue, à J0.

Art° = articulation, Cd = vue caudale, Cr = vue crâniale, Lat = vue latérale, dist = distale, prox = proximale, Tmin = température minimale, Tmoy = température moyenne, Tmax = température maximale

3.3.2 Comparaison des Diff(Tmoy) des articulations lésée, proximales et distales

3.3.2.1 Comparaison par orientation

3.3.2.1.1 Vue craniale vs. vue caudale vs. vue latérale

Tmoy	Vue caudale	Vue crâniale	Vue latérale
Articulation lésée	-3,09 ± 4,40	-0,70 ± 2,87	-1,64 ± 3,95
Articulation distale	-2,35 ± 4,67	-0,72 ± 1,73	-1,17 ± 2,52
Articulation proximale	0,60 ± 4,04	0,32 ± 2,57	-1,37 ± 4,63

Tableau 8 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0 (°C). n = 14

* différence significative entre les différences de température de entre les différentes vues. p-value<0.05

† différence significative entre les différences de température entre l'articulation lésée, distale et proximale. p-value<0.05

Aucune différence significative de différence de température moyenne entre les articulations lésées, distales et proximales, ni entre les vues caudales, crâniales et latérales n'ont été détectées.

3.3.2.1.2 Vue de face vs. vue de profil

En regroupant vue crâniales et vue caudale dans un même groupe appelé « face » et en le comparant à l'orientation latérale appelée « profil » on obtient les résultats présentés en tableau 9.

Tmoy	Face	Profil
Articulation lésée	-2,14 ± 5,44	-2,13 ± 5,53
Articulation distale	-2,02 ± 4,67	-1,61 ± 4,55
Articulation proximale	1.38 ± 5,18	-1,91 ± 5,25

Tableau 9 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0 (°C). n = 14

* différence significative entre les différences de température de entre les différentes vues. p-value<0.05

† différence significative entre les différences de température entre l'articulation lésée, distale et proximale. p-value<0.05

Ici encore on ne retrouve aucune différence significative de température de surface moyenne entre vue de face et vue de profil, quelle que soit l'articulation considérée (p<0.05).

Nous avons donc regroupé toutes les températures obtenues dans les différentes orientations pour chaque articulation afin d'augmenter l'effectif et mener les comparaisons entre articulations seulement.

3.3.2.2 Par articulation toutes vues confondues

Le test d'ANOVA à un seul facteur ne permet pas de mettre en évidence de différence significative entre différences de températures moyennes entre articulations lésée, distale et proximale (tableau 10).

	Articulation lésée	Articulation distale	Articulation proximale	p-value
Tmoy	-1,68 ± 3,75	-1,18 ± 2,67	-0,22 ± 3,85	0,198

Tableau 10 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0. n=14

† différence significative entre les températures de surface de l'articulation lésée, distale et proximale. p-value<0.05

On remarque tout de même que l'articulation lésée à une tendance à être plus froide que l'articulation proximale et dans une moindre mesure la distale.

3.3.2.3 Par localisation

Nous qualifions de localisation l'articulation précise atteinte : carpe, coude, épaule, main, grasset et tarse ; qui sont les localisations sur lesquelles nous avons observé des lésions dans notre population d'étude.

3.3.2.3.1 Sur la population globale

L'ANOVA à un facteur démontre une différence significative de différences de températures moyennes entre les sous-groupes « carpe », « coude », « épaule », « grasset », « main », « tarse » et « pied », toutes articulations confondues (tableau 11).

Localisation.	Diff(Tmoy) Moyenne	Ecart-type	n
Carpe	-0,87725	0,481560244	40
Coude	-3,115454545	0,6493357	22
Epaule	0,31	1,362058056	5
Main	1,871333333 *†	0,786384585	15
Grasset	-5,484285714*‡	1,151149161	7
Tarse	0,05875†°	0,7614136	16

Tableau 11 : Différence des températures moyennes (moyenne ± écart-type) des articulations à J0

* différence significative avec le carpe. $p < 0.05$

† différence significative avec le coude. $p < 0.05$

‡ différence significative avec la main. $p < 0.05$

° différence significative avec le grasset. $p < 0.05$

On a donc ainsi un effet global de la localisation considérée sur la différence de température de surface relevée au niveau de l'articulation sur notre population. Au vu des effectifs en présence, nous retiendrons essentiellement que la main du membre lésé apparaît plus chaude que le carpe, le coude et le tarse ipsilatéraux et que le coude du membre lésé est plus froid que le tarse ipsilatéral.

Le grasset du membre lésé est également plus froid que le carpe, la main et le tarse ipsilatéraux mais les effectifs sont trop petits pour que la puissance du test soit valide.

3.3.2.3.2 Par articulation

En revanche, en conservant ces mêmes sous-groupes par localisation mais en comparant par une ANOVA à deux facteurs les différences de température moyenne entre les groupes d'articulations lésées, proximale et distale, on ne distingue pas de différence significative de Diff(Tmoy) que l'articulation soit lésée, ou qu'il s'agisse d'une des deux articulations adjacentes. Seule la localisation de l'articulation concernée semble donc jouer un rôle dans les différences de température observées. Néanmoins, les effectifs considérés sont faibles et la puissance du test peut s'en trouver affectée.

3.3.2.3.3 Comparaison sur la sous-population de lésions du carpe

Ainsi nous avons donc décidé de comparer les Diff(Tmoy) entre articulation lésée, proximale et distale pour le carpe uniquement, dont l'effectif est suffisant et suit une loi normale.

Lorsque l'on considère les atteintes du carpe uniquement, on retrouve une différence de température moyenne entre carpe lésé et carpe sain significativement plus basse que celle du coude ($-2,24^{\circ}\text{C} \pm 2,87^{\circ}\text{C}$ versus $-1,19 \pm 2,10^{\circ}\text{C}$; $p=0.009$).

On ne retrouve pas de différence significative entre températures de l'articulation proximale et distale, ni entre l'articulation lésée et distale.

4. Discussion, limites de l'étude et conclusions

4.1 Examen clinique et orthopédique

Au cours de l'édition 2022 de La Grande Odyssée, l'examen orthopédique réalisé sur 16 chiens a révélé que la grande majorité des atteintes étaient localisées aux membres thoraciques (71 %). Ce résultat concorde avec les résultats obtenus lors de La Grande Odyssée édition 2020 (Fauquet 2020) et de l'édition 2008 (Rebert 2010). En effet, en 2020, sur 10 cas cliniques de chiens atteints de lésions orthopédiques 9 étaient localisées sur les membres thoraciques, et en 2008, 64 % des lésions étaient des atteintes des membres thoraciques. De plus, on remarque que l'articulation la plus touchée est le carpe. Cette observation avait également été faite durant La Grande Odyssée 2020 (Fauquet 2020). Ces résultats concordent également avec ceux de l'étude menée sur 989 chiens de traineau, sur l'Iditarod 2011, où on le rappelle, 43,3 % des atteintes orthopédiques étaient représentées sur les membres thoraciques, et où les blessures aux carpes et aux épaules étaient les deux principales causes d'exclusion des chiens de la compétition (von Pfeil et al. 2015).

De plus, deux chiens ont dû être exclus de notre étude statistique car ne présentaient pas une atteinte ostéo-articulaire localisée, mais une atteinte musculo-squelettique généralisée de type contractures. Canelle Fauquet décrit la même difficulté avec certains cas cliniques, où les atteintes musculaires et/ou tendineuses étaient peu localisées et donc étaient à l'origine d'incertitudes durant les mesures qui se traduisent par une absence de détection d'anomalie entre les deux membres avec la caméra thermique (Fauquet 2020) .

Enfin, concernant les scores de douleur, on observe un nombre important de scores nuls. Nous pouvons expliquer cette observation de 2 façons : la possible inhibition due au stress lors des manipulations, mais aussi par le délai qu'il peut s'écouler entre la détection de l'anomalie et l'examen orthopédique.

4.2 Suivis thermographiques au cours de la compétition

Afin de déterminer si la thermographie a un intérêt dans le suivi des affections ostéo-articulaires, nous avons pour objectif d'effectuer des mesures sur plusieurs jours. Malheureusement plusieurs problématiques sont apparues. Tout d'abord, de nombreuses affections que nous avons détectées à J0 lors de nos premières mesures, se sont totalement résolues dans les premières 24 heures suivant leur détection. En effet, 9 des 16 chiens ont recouru dans les 48h après détection de la lésion, avec une disparition des signes cliniques. 4 ont été mis au repos, puis on recouru par la suite, et 3 ont été droppés définitivement. Cela a donc rendu plus compliqué la poursuite des prises des mesures à J1 et J2, avec, dans le contexte de la course, l'impossibilité d'imposer nos mesures au musher. De plus, certains chiens ne sont pas présents du premier au dernier jour de course, notamment suite à l'abandon de l'équipe ou à leur participation à un Trophée durant seulement 3 jours. De plus, certains chiens peuvent être mis au repos ou exclus de la course : ils sont alors toujours présents sur le site de la compétition, mais ne suivent pas le même rythme que les chiens en compétition, et sont donc plus souvent dans leur box, « inaccessibles » pour les mesures.

On explique donc le manque de chiens suivi (10 chiens sur 16) par les raisons précédemment citées. Les données de J1 et J2 n'ont donc pas pu être incluses dans les résultats statistiques par manque d'effectif. Notre analyse s'est donc focalisée sur les données de J0.

4.3 Températures brutes et différences des températures moyennes

Les résultats obtenus par l'analyse statistique ne sont pas ceux attendus lorsque nous avons formulé nos hypothèses.

Si on a détectée une faible différence de température moyenne significative entre membre lésé et membre sain, non seulement elle ne concerne pas seulement l'articulation lésée mais en plus le côté lésé est globalement plus froid que le côté sain. Ceci est en contradiction avec les données précédemment établies (Rekant et al. 2016). De plus, l'étude des différences de température moyennes entre articulation lésée, proximale et distale, que ce soit par orientation, par articulation toutes vues confondues, ou encore par localisation et par articulation, n'a mis en évidence aucune différence significative. La première hypothèse que nous formulons pour expliquer ces résultats est le manque d'effectif et l'hétérogénéité des lésions et de leur localisation. En effet, l'édition 2021 a été globalement peu traumatique pour les chiens, notamment grâce à une qualité de neige particulièrement bonne : sur près de 600 chiens, seuls 16 ont répondu à nos critères d'inclusion, et seulement 14 ont pu être inclus dans l'étude statistique. De plus, le suivi des chiens a été compliqué à mettre en place, ce qui a également réduit notre effectif de manière trop importante pour pouvoir poursuivre une analyse statistique sur le suivi. Ce dernier aurait peut-être permis de mettre en évidence des phénomènes inflammatoires retardés et donc plus visibles. Ainsi, lorsqu'on étudie les thermogrammes des chiens à l'échelle individuelle on s'aperçoit par exemple que 4 chiens (Naïro, Idéale, Platine et Djazy) ont des températures moyennes des articulations lésées qui montrent une tendance à augmenter lors du suivi à 24h post mesure (J1). On peut donc supposer que les patterns thermographiques auraient été plus conclusifs si nous disposions de ces données sur les suivis J1 et J2 et sur un grand effectif.

De plus, le froid environnant parfois extrême, apporte un biais à nos mesures en faisant fortement diminuer la température mesurée. En effet, lorsque des différences ont été détectées, elles concernaient rarement uniquement l'articulation lésée et pouvait donc s'apparenter à un effet environnemental. L'effet blessure pourrait être alors totalement effacé et ne pas apparaître de façon significative dans notre étude. Les blessures sont de surcroît souvent bénignes ou résolues dans les 24 heures, et leur impact sur l'image thermique est donc aisément masqué par l'environnement. Les conditions environnementales d'acquisition des clichés sont donc un des facteurs majeurs de biais pour nos mesures, et font partie des limites de notre étude que nous détaillons dans un paragraphe dédié.

En parallèle, nous avons mis en évidence des différences significatives entre côté lésé et côté sain pour les articulations lésées et distales : elles étaient significativement plus froides. Afin de

comprendre ce résultat, une première explication serait de considérer que les articulations ayant une lésion en phase suraiguë ne produisent pas suffisamment de chaleur pour être détectées par la thermographie, voire en produisent moins que habituellement. En effet, Turner explique que, dans le cas de certaines atteintes orthopédiques chez le cheval, les tissus lésés peuvent avoir un apport sanguin réduit, notamment en raison d'un gonflement et d'un œdème important, d'une thrombose des vaisseaux, d'un infarctus ou d'une compression des tissus (Turner 1991). Il montre par exemple un thermogramme d'une lésion musculaire grave du biceps fémoral chez un cheval, où le site de lésion est représenté par un point froid. De même en médecine humaine, Fernandez et Martinez montrent dans une étude présentée en 2020 sur la thermographie lors de blessures chez des joueurs de foot que les profils thermiques peuvent être différents d'une lésion à une autre, et que l'hypothermie peut être retrouvée dans certains cas : les atteintes des muscles, des nerfs, et les tendinopathies avaient plutôt tendance à être hypotherme entre le jour de la blessure et jusqu'à 30 jours après (Fernández Cuevas, Martínez 2020) .

Enfin, la localisation de l'articulation concernée semble jouer un rôle dans les différences de températures. On remarque une tendance à l'augmentation de température depuis le sol (articulation distale) vers le corps (articulation proximale) pour les deux côtés considérés. Ce gradient avait également été mis en évidence lors de l'édition 2020, où plus l'articulation était distale, plus la température moyenne mesurée était faible (Fauquet 2020). On explique ce résultat par le facteur environnemental déjà évoqué, où le contact avec le sol et l'air froid diminuerait les températures mesurées. L'effet thermogénèse du corps jouerait également un rôle (Kurz 2008) , et il semble donc cohérent de penser que les articulations les plus proches du corps, donc les articulations proximales, ont des températures de surface plus élevées, par proche localisation ou par contact avec les muscles et autres organes produisant de la chaleur. Il serait donc intéressant dans une prochaine étude de ne se consacrer qu'à l'analyse en environnement plus contrôlé, d'un seul type d'articulation, notamment les carpes, qui semblent être les articulations majoritairement touchées ici, dans des conditions d'acquisition des images améliorées.

4.4 Limites de l'étude expérimentale et améliorations proposées :

4.4.1 Conditions environnementales d'acquisition des clichés

Dans la littérature, il est recommandé de prendre les clichés des images thermiques dans un environnement contrôlé et aux conditions répétables : température ambiante stable, sans exposition au soleil et sans courant d'air (The American Academy of Thermology 2019). Une pièce unique, disposant d'un environnement constant (même type de sol, même hygrométrie, absence de précipitation) serait l'idéal pour réaliser des mesures d'imagerie thermique. Or, lors de la compétition de La Grande Odyssée 2021, les conditions dans lesquelles les clichés ont été réalisés étaient sans cesse différentes, d'autant plus que l'accès à l'intérieur était restreint par les normes sanitaires liées à la pandémie de Covid 19. Les conditions météorologiques changent d'heure en heure, avec des précipitations de neige et une exposition au soleil qui peuvent être très variables. De même, la compétition se déroule sur 12 jours, dans des lieux différents chaque jour et à des heures différentes de la journée. Ainsi les mesures ont pu être effectuées très tôt le matin comme tard le soir. Il est donc impossible d'obtenir des conditions environnementales contrôlées en effectuant ces clichés en extérieur. La température extérieure et la température du sol sont notamment des paramètres qui influencent fortement les résultats de température de surface. En effet, idéalement le sol doit être un composant non réfléchissant (The American Academy of Thermology 2019), or la neige est par définition, un matériau réfléchissant. Une des solutions que l'on pourrait envisager serait d'effectuer tous les clichés en intérieur, notamment dans les camions mis à disposition de l'équipe vétérinaire pour les équipements tels que la pharmacie ou la radiographie. Il est arrivé que pour certains clichés, l'animal soit en intérieur, à la suite d'une échographie par exemple, mais cela reste anecdotique et ne semble pas avoir eu de conséquence particulière sur nos résultats. Or l'intérêt de la caméra thermique portable est de pouvoir l'amener au chevet du patient, au plus près de la course, du bivouac des mushers et de leurs chiens. Nous n'avons pas souhaité réaliser les mesures dans une salle d'imagerie dédiée, dans le but d'évaluer la pertinence de l'emploi de la caméra sur le terrain.

4.4.2 Variations dues aux individus et aux lésions

Tout d'abord, malgré l'obéissance des chiens et la contention mise en place pour obtenir les clichés, la distance ainsi que l'angle lors de la prise d'un cliché sont toujours approximatifs. Les animaux sont vigiles, agités, parfois très stressés, et on ne peut donc garantir la répétabilité des conditions dans lesquelles sont prises les images.

De même, plusieurs problèmes apparaissent lorsqu'on s'intéresse aux lésions ostéo-articulaires étudiées. En effet, une lésion peut apparaître en tout début de course, comme en fin de parcours, et il est parfois impossible de connaître le moment précis d'apparition. Le délai entre la survenue de la lésion et l'acquisition des clichés peut donc être extrêmement variable. La question se pose alors de quand considérer la limite entre état pré lésionnel et lésionnel, afin de cibler le moment opportun pour effectuer les mesures, que ce soit dans un but de détection ou de prévention des lésions. Pour les blessures des sportifs notamment, la thermographie permet de réduire significativement les jours d'absence causés par les blessures, ainsi que la probabilité de blessures à l'entraînement, grâce à une détection précoce des lésions orthopédiques déclarées chez les joueurs, et à un suivi thermographique régulier des lésions (Quintana, Carmona, Fernández Cuevas 2017) . Il serait donc intéressant de pouvoir se pencher sur cet aspect de détection précoce et de prévention dans le cas des chiens de traîneau.

De même, pour les raisons techniques d'organisation de la course, il nous a été impossible d'effectuer tous les clichés à un instant précis après l'arrivée des équipes : les chiens sont parfois déjà dans les box, en marche de récupération, ou autre. Dans ce contexte de course, et non pas de seule étude expérimentale, les mushers sont obligés de respecter leur propre organisation et ne peuvent pas toujours s'adapter à nos besoins pour effectuer les mesures.

Par ailleurs, lorsqu'une lésion était détectée sur un chien, le vétérinaire mais aussi le musher pouvaient déjà avoir manipulé le membre atteint (et son controlatéral) pour la nécessité de l'examen clinique ou d'un massage musculaire par exemple. Les mesures peuvent alors être biaisées par ces manipulations préalables.

Enfin, notre étude se concentre sur les affections ostéo-articulaires qui peuvent apparaître sur les chiens de traîneaux. Mais les lésions musculo-squelettiques sont également très fréquentes et ont des signes cliniques parfois très proches des atteintes ostéo-articulaires : contractures, élongations, courbatures ... sont autant de lésions étant à l'origine de boiterie et d'inflammation localisée notamment. Pour preuve, deux chiens inclus dans notre étude au départ ont été exclus des statistiques car étaient atteints en réalité de fortes courbatures. Cette proximité des signes cliniques a donc compliqué notre approche voulant se focaliser sur les atteintes articulaires, et peut être à l'origine d'erreur quant à l'étiologie de la lésion. Afin d'éviter ces erreurs, nous pourrions proposer d'étudier les lésions ostéo-articulaires avérées et vérifiées par une autre méthode au préalable (radiographie, échographie, examen d'ostéopathie complet), comme nous le souhaitons. Le manque d'effectif ne nous a pas permis de réaliser ce type de comparaison et pourrait représenter une piste d'exploration future très intéressante.

5. Conclusion

La plupart des comparaisons que nous avons effectuées ne parviennent pas à mettre en évidence de différence significative entre articulation lésée et articulation saine. Lorsqu'une différence existe, elle démontre que le côté lésé est plus froid que le côté non lésé, pour les articulations distales et lésées. Enfin, on montre également un effet localisation de l'articulation sur les températures mesurées. Ceci est en opposition avec beaucoup de données déjà publiées et suggère un biais environnemental fort dans l'acquisition de nos clichés.

La caméra thermique ressort donc, dans notre étude, comme étant un outil difficilement utilisable dans les conditions de compétition que présente cette édition de La Grande Odysée, car peu pertinent comme outil de détection des lésions dans notre cas. Nombreux sont les facteurs de variations et les biais qui peuvent nous amener à ces résultats, et ils sont probablement trop importants à ce jour pour réussir à dégager des résultats probants.

CONCLUSION

Nous avons vu à travers une approche bibliographique que le chien d'utilité, qu'il soit de sport ou de travail, est fréquemment sujet à des atteintes ostéo-articulaires telles que les entorses, les luxations ... Caractérisées par une inflammation localisée douloureuse, elles sont fortement délétères pour l'effort physique. Il est donc primordial de prendre en charge et de gérer ces boiteries le plus rapidement possible, a fortiori en condition de compétition. Les conditions des courses en montagne comme lors de La Grande Odyssée étant particulièrement difficiles, nous nous sommes intéressés à un outil de détection des lésions prometteur : l'imagerie thermique. En effet, nombreux sont les avantages que propose cette méthode : elle est non invasive, sans contact, facile à mettre en place et rapide d'utilisation.

Durant l'édition 2020 de La Grande Odyssée, les résultats d'une étude menée sur les chiens de traîneaux sains étaient encourageants (Fauquet 2020). L'objectif de notre étude durant l'édition 2021 était donc de compléter ces résultats en s'intéressant aux chiens de traîneau atteints de lésions ostéo-articulaires détectées en course. En effet, nous nous sommes demandé si l'imagerie thermique était un outil de diagnostic pertinent dans la détection de ces lésions, via la détection de différences de température entre zone lésée et zone saine.

Après avoir validé l'acceptabilité d'un logiciel d'analyse d'image thermique confectionné pour le besoin de l'étude, nous avons analysé les températures des articulations de 16 chiens suspectés de présenter une atteinte ostéo-articulaire. Or les premiers résultats émis par notre étude indiquent que l'utilisation de la thermographie infrarouge à l'aide d'une caméra thermique ne semble pas être un outil adapté à la détection des lésions ostéo-articulaires dans ce contexte. En effet, la plupart des comparaisons que nous avons effectuées ne parviennent pas à mettre en évidence une différence significative entre articulation lésée et articulation saine. Pour autant, une différence significative a tout de même été détectée par deux tests statistiques, montrant que le côté lésé était plus froid que le côté sain. Ce résultat ne correspond pas à l'hypothèse que nous avons formulé, se basant sur l'augmentation de la température de la zone lors d'une inflammation locale.

Les principaux facteurs que nous retiendrons comme pouvant biaiser nos mesures sont les conditions environnementales extrêmes, les variations dues aux individus et aux lésions présentées et leur hétérogénéité, les conditions de mesures inhérentes à la compétition, et le faible effectif global et a fortiori par lésion

L'imagerie thermique reste un outil prometteur, largement utilisé dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire notamment en équine. Mais sa pertinence comme outil

diagnostique, dans nos conditions de compétition de chien de traîneau, demande à être confirmée lors d'études supplémentaires, avec des données sur un plus grand effectif et surtout en améliorant les conditions de suivi.

BIBLIOGRAPHIE

CAŁKOSIŃSKI, Ireneusz, DOBRZYŃSKI, Maciej, ROSIŃCZUK, Joanna, DUDEK, Krzysztof, CHRÓSZCZ, Aleksander, FITA, Katarzyna et DYMAREK, Robert, 2015. The Use of Infrared Thermography as a Rapid, Quantitative, and Noninvasive Method for Evaluation of Inflammation Response in Different Anatomical Regions of Rats. *BioMed Research International*. 5 mars 2015. Vol. 2015, pp. e972535. DOI 10.1155/2015/972535.

CALOGIURI, Giovanna et WEYDAHL, Andi, 2017. Health challenges in long-distance dog sled racing: A systematic review of literature. *International Journal of Circumpolar Health*. janvier 2017. Vol. 76, n° 1, pp. 1396147. DOI 10.1080/22423982.2017.1396147.

CILULKO, Justyna, JANISZEWSKI, Paweł, BOGDASZEWSKI, Marek et SZCZYGIELSKA, Eliza, 2013. Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research*. 1 février 2013. Vol. 59, n° 1, pp. 17-23. DOI 10.1007/s10344-012-0688-1.

CULLEN, Kimberley L., DICKEY, James P., BENT, Leah R., THOMASON, Jeffrey J. et MOËNS, Noel M. M., 2013a. Internet-based survey of the nature and perceived causes of injury to dogs participating in agility training and competition events. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 octobre 2013. Vol. 243, n° 7, pp. 1010-1018. DOI 10.2460/javma.243.7.1010.

CULLEN, Kimberley L., DICKEY, James P., BENT, Leah R., THOMASON, Jeffrey J. et MOËNS, Noel M. M., 2013b. Survey-based analysis of risk factors for injury among dogs participating in agility training and competition events. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 octobre 2013. Vol. 243, n° 7, pp. 1019-1024. DOI 10.2460/javma.243.7.1019.

DAVIS, P.E., 1973. Toe and muscle injuries of the racing greyhound. *New Zealand Veterinary Journal*. 1 juillet 1973. Vol. 21, n° 7, pp. 133-146. DOI 10.1080/00480169.1973.34094.

DENNIS, Michelle M., NELSON, Stuart N., CANTOR, Glenn H., MOSIER, Derek A., BLAKE, John E. et BASARABA, Randall J., 2008. Assessment of necropsy findings in sled dogs that died during Iditarod Trail sled dog races: 23 cases (1994–2006). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 février 2008. Vol. 232, n° 4, pp. 564-573. DOI 10.2460/javma.232.4.564.

EDDY, A. L., VAN HOOGMOED, L. M et SNYDER, J. R, 2001a. The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. *The Veterinary Journal*. 1 novembre 2001. Vol. 162, n° 3, pp. 172-181. DOI 10.1053/tvjl.2001.0618.

EDDY, A. L., VAN HOOGMOED, L. M et SNYDER, J. R, 2001b. The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. *The Veterinary Journal*. 1 novembre 2001. Vol. 162, n° 3, pp. 172-181. DOI 10.1053/tvjl.2001.0618.

EVANS, Howard E. et MILLER, Malcolm E., 2013. *Miller's anatomy of the dog*. Fourth edition. St. Louis, Missouri : Elsevier. ISBN 978-1-4377-0812-7. SF767.D6 M54 2013

FAUQUET, Canelle, 2020. Étude de l'utilisation de l'imagerie thermique des articulations chez le chien de traîneaux en condition de course : description chez le chien sain et application de cas cliniques lors de la grande odyssee 2020. . 2020. pp. 117.

FERNÁNDEZ CUEVAS, Ismael et MARTÍNEZ, Alejandro, 2020. Thermal profile description of most common soccer injuries by Infrared Thermography: case studies. In : . 20 novembre 2020.

- FIORANELLI, Massimo, ROCCIA, Maria Grazia, FLAVIN, Dana et COTA, Linda, 2021. Regulation of Inflammatory Reaction in Health and Disease. *International Journal of Molecular Sciences*. 17 mai 2021. Vol. 22, n° 10, pp. 5277. DOI 10.3390/ijms22105277.
- GIAVARINA, Davide, 2015. Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*. 5 juin 2015. Vol. 25, n° 2, pp. 141-151. DOI 10.11613/BM.2015.015.
- GRANDJEAN, Dominique, 2002. *Guide pratique du chien de sport & d'utilité*. 2e éd. Paris : Aniwa publishing. Collection dirigée par Bernardo Gallitelli. ISBN 978-2-7476-0056-9. 636.73
- HARRIS-BRIDGE, G., YOUNG, L., HANDEL, I., FARISH, M., MASON, C., MITCHELL, M. A. et HASKELL, M. J., 2018. The use of infrared thermography for detecting digital dermatitis in dairy cattle: What is the best measure of temperature and foot location to use? *Veterinary Journal (London, England: 1997)*. juillet 2018. Vol. 237, pp. 26-33. DOI 10.1016/j.tvjl.2018.05.008.
- HUSON, Heather J, PARKER, Heidi G, RUNSTADLER, Jonathan et OSTRANDER, Elaine A, 2010. A genetic dissection of breed composition and performance enhancement in the Alaskan sled dog. *BMC Genetics*. 22 juillet 2010. Vol. 11, pp. 71. DOI 10.1186/1471-2156-11-71.
- IDDON, J., LOCKYER, R. H. et FREAN, S. P., 2014. The effect of season and track condition on injury rate in racing greyhounds. *The Journal of Small Animal Practice*. août 2014. Vol. 55, n° 8, pp. 399-404. DOI 10.1111/jsap.12229.
- IGNA, C., MAVROMATIS, S., BUMB, D., SICOE, B., ZAHA, C. et SCHUSZLER, L., 2017. Thermal imaging of the dogs with cranial cruciate ligaments ruptures. *Lucrari Stiintifice - Universitatea de Stiinte Agricole a Banatului Timisoara, Medicina Veterinara*. 2017. Vol. 50, n° 1, pp. 232-241.
- ISAKSEN, Katja E., LINNEY, Lori, WILLIAMSON, Helen, CAVE, Nick J., NORMAN, Elizabeth J. et COGGER, Naomi, 2020. TeamMate: A Longitudinal Study of New Zealand Working Farm Dogs. II. Occurrence of Musculoskeletal Abnormalities. *Frontiers in Veterinary Science*. 16 octobre 2020. Vol. 7, pp. 624. DOI 10.3389/fvets.2020.00624.
- JOHNSON, Shylo, RAO, Sangeeta, HUSSEY, Stephen et MORLEY, Paul, 2011. Thermographic Eye Temperature as an Index to Body Temperature in Ponies. *Journal of Equine Veterinary Science - J EQUINE VET SCI*. 1 février 2011. Vol. 31, pp. 63-66. DOI 10.1016/j.jevs.2010.12.004.
- KCIOP, 2022. Règlement officiel La Grande Odyssée 2022. [en ligne]. 2022. [Consulté le 17 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.grandeodysee.com/wp-content/uploads/2021/11/LGO22-Reglement-LGO-1.pdf>
- KERR, Zachary Y., FIELDS, Sarah et COMSTOCK, R. Dawn, 2014. Epidemiology of injury among handlers and dogs competing in the sport of agility. *Journal of Physical Activity & Health*. juillet 2014. Vol. 11, n° 5, pp. 1032-1040. DOI 10.1123/jpah.2012-0236.
- KURZ, Andrea, 2008. Physiology of Thermoregulation. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 1 décembre 2008. Vol. 22, n° 4, pp. 627-644. DOI 10.1016/j.bpa.2008.06.004.
- KWON, Claire J. et BRUNDAGE, Cord M., 2019. Quantifying body surface temperature differences in canine coat types using infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*. 1 mai 2019. Vol. 82, pp. 18-22. DOI 10.1016/j.jtherbio.2019.03.004.
- LAFUENTE, Pilar et WHYLE, Caitlin, 2018. A Retrospective Survey of Injuries Occurring in Dogs and Handlers Participating in Canicross. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* septembre 2018. Vol. 31, n° 5, pp. 332-338. DOI 10.1055/s-0038-1661390.

Les chiens - les Races, 2019. *La Grande Odyssée Savoie Mont Blanc* [en ligne]. [Consulté le 27 janvier 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.grandeodysee.com/races/>

LEVY, M., HALL, C., TRENTACOSTA, N. et PERCIVAL, M., 2009. A preliminary retrospective survey of injuries occurring in dogs participating in canine agility. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* 2009. Vol. 22, n° 4, pp. 321-324. DOI 10.3415/VCOT-08-09-0089.

LOTHA, RODRIGUEZ, Gloria, Emily, 2018. Encyclopedia Britannica - Thermoregulation. [en ligne]. 2018. [Consulté le 17 février 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.britannica.com/science/thermoregulation>

MARCELLIN-LITTLE, Denis J., LEVINE, David et TAYLOR, Robert, 2005. Rehabilitation and conditioning of sporting dogs. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice.* novembre 2005. Vol. 35, n° 6, pp. 1427-1439, ix. DOI 10.1016/j.cvsm.2005.08.002.

MARTINS, Rhafeel Felipe Saraiva, DO PRADO PAIM, Tiago, DE ABREU CARDOSO, Cyntia, STÉFANO LIMA DALLAGO, Bruno, DE MELO, Cristiano Barros, LOUVANDINI, Helder et MCMANUS, Concepta, 2013. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. *Research in Veterinary Science.* 1 juin 2013. Vol. 94, n° 3, pp. 722-724. DOI 10.1016/j.rvsc.2012.10.021.

MCGOWAN, Lauren, LOUGHIN, Catherine A, MARINO, Dominic J., UMBAUGH, Scott E., LIU, Peng, AMINI, Maryam, SOLT, Patrick, LESSER, Martin L. et AKERMAN, Meredith, 2015. Medical Infrared Imaging of Normal and Dysplastic Elbows in Dogs. *Veterinary Surgery.* 2015. Vol. 44, n° 7, pp. 874-882. DOI 10.1111/vsu.12372.

MEY, Wendy, SCHUH-RENNER, Anna, ANDERSON, Morgan K., STEVENSON-LAMARTINA, Heather et GRIER, Tyson, 2020. Risk factors for injury among military working dogs deployed to Iraq. *Preventive Veterinary Medicine.* mars 2020. Vol. 176, pp. 104911. DOI 10.1016/j.prevetmed.2020.104911.

MINKINA AND DUDZIK, Waldemar, Sebastian, 2009. Measurements in Infrared Thermography. In : *Infrared Thermography* [en ligne]. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 15-40. [Consulté le 17 février 2022]. ISBN 978-0-470-68223-4. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470682234.ch2>

PALMER, A. L., ROGERS, C. W., STAFFORD, K. J., GAL, A. et BOLWELL, C. F., 2021. A retrospective descriptive analysis of race-day injuries of greyhounds in New Zealand. *Australian Veterinary Journal.* juin 2021. Vol. 99, n° 6, pp. 255-262. DOI 10.1111/avj.13064.

PALMER, Anna L., ROGERS, Chris W., STAFFORD, Kevin J., GAL, Arnon et BOLWELL, Charlotte F., 2021a. Risk-Factors for Soft-Tissue Injuries, Lacerations and Fractures During Racing in Greyhounds in New Zealand. *Frontiers in Veterinary Science.* 3 décembre 2021. Vol. 8, pp. 737146. DOI 10.3389/fvets.2021.737146.

PALMER, Anna L., ROGERS, Chris W., STAFFORD, Kevin J., GAL, Arnon et BOLWELL, Charlotte F., 2021b. Risk-Factors for Soft-Tissue Injuries, Lacerations and Fractures During Racing in Greyhounds in New Zealand. *Frontiers in Veterinary Science.* 3 décembre 2021. Vol. 8, pp. 737146. DOI 10.3389/fvets.2021.737146.

PAVELSKI, M., SILVA, D.M., LEITE, N.C., JUNIOR, D.A., DE SOUSA, R.S, GUÉRIOS, S.D. et DORNBUSCH, P.T., 2015. Infrared Thermography in Dogs with Mammary Tumors and Healthy Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine.* 2015. Vol. 29, n° 6, pp. 1578-1583. DOI 10.1111/jvim.13597.

- POLAT, B., COLAK, A., CENGIZ, M., YANMAZ, L. E., ORAL, H., BASTAN, A., KAYA, S. et HAYIRLI, A., 2010. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1 août 2010. Vol. 93, n° 8, pp. 3525-3532. DOI 10.3168/jds.2009-2807.
- POUZOT-NEVORET, Céline, BARTHÉLEMY, Anthony, GOY-THOLLOT, Isabelle, BOSELLI, Emmanuel, CAMBOURNAC, Maxime, GUILLAUMIN, Julien, BONNET-GARIN, Jeanne-Marie et ALLAOUCHICHE, Bernard, 2018. Infrared thermography: a rapid and accurate technique to detect feline aortic thromboembolism. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 1 août 2018. Vol. 20, n° 8, pp. 780-785. DOI 10.1177/1098612X17732485.
- PROLE, J. H. B., 1976. A survey of racing injuries in the Greyhound. *Journal of Small Animal Practice*. avril 1976. Vol. 17, n° 4, pp. 207-218. DOI 10.1111/j.1748-5827.1976.tb06951.x.
- PUROHIT, R. C. et MCCOY, M. D., 1980. Thermography in the diagnosis of inflammatory processes in the horse. *American Journal of Veterinary Research*. août 1980. Vol. 41, n° 8, pp. 1167-1174.
- QUINTANA, Manuel, CARMONA, Pedro et FERNÁNDEZ CUEVAS, Ismael, 2017. Infrared Thermography as a Means of Monitoring and Preventing Sports Injuries. In : . pp. 165-198. ISBN 978-1-5225-2072-6.
- RADIGONDA, Vinicius, PEREIRA, Gabriel, DA CRUZ FAVARO, Patrícia, BARCA JÂNIO, Flávio, BORGES, Marcelo, GALDIOLI, Victor et JÂNIO, Celso, 2017. Infrared thermography relationship between the temperature of the vulvar skin, ovarian activity, and pregnancy rates in Braford cows. *Tropical animal health and production* [en ligne]. 2017. [Consulté le 17 janvier 2022]. Disponible à l'adresse : <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-017-1378-5>
- RAINWATER-LOVETT, Kaitlin, PACHECO, Juan M., PACKER, Craig et RODRIGUEZ, Luis L., 2009. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *Veterinary Journal (London, England : 1997)*. juin 2009. Vol. 180, n° 3, pp. 317-324. DOI 10.1016/j.tvjl.2008.01.003.
- REBERT, Delphine., 2010. *Contribution à l'étude des affections spécifiques du chien de traineau en course : étude épidémiologique des affections lors de « La Grande Odyssée 2008 » et comparaison avec les données de l'Alpirod 1993/1994*.
- REKANT, Steven I., LYONS, Mark A., PACHECO, Juan M., ARZT, Jonathan et RODRIGUEZ, Luis L., 2016. Veterinary applications of infrared thermography. *American Journal of Veterinary Research*. 1 janvier 2016. Vol. 77, n° 1, pp. 98-107. DOI 10.2460/ajvr.77.1.98.
- RENBERG, Walter C., 2001. Evaluation of the Lamé Patient. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. janvier 2001. Vol. 31, n° 1, pp. 1-16. DOI 10.1016/S0195-5616(01)50035-2.
- RIEMER, Stefanie, ASSIS, Luciana, PIKE, Thomas W. et MILLS, Daniel S., 2016. Dynamic changes in ear temperature in relation to separation distress in dogs. *Physiology & Behavior*. 1 décembre 2016. Vol. 167, pp. 86-91. DOI 10.1016/j.physbeh.2016.09.002.
- RING, E F J et AMMER, K, 2012. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement*. 1 mars 2012. Vol. 33, n° 3, pp. R33-R46. DOI 10.1088/0967-3334/33/3/R33.
- SCHAEFER, A.L, COOK, Nigel, TESSARO, S., DEREGT, D., DESROCHES, G., DUBESKI, P., TONG, A.K.W et GODSON, Dale, 2004. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Canadian Journal of Animal Science*. 1 mars 2004. Vol. 84, pp. 73-80. DOI 10.4141/A02-104.
- SCHAEFER, A.L., COOK, N.J., BENCH, C., CHABOT, J.B., COLYN, J., LIU, T., OKINE, E.K., STEWART, M. et WEBSTER, J.R., 2012. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset

in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*. octobre 2012. Vol. 93, n° 2, pp. 928-935. DOI 10.1016/j.rvsc.2011.09.021.

SCHAEFER, A.L., COOK, N.J., CHURCH, J.S., BASARAB, J., PERRY, B., MILLER, C. et TONG, A.K.W., 2007. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Research in Veterinary Science*. décembre 2007. Vol. 83, n° 3, pp. 376-384. DOI 10.1016/j.rvsc.2007.01.008.

SELLON, Debra C., MARTUCCI, Katherine, WENZ, John R., MARCELLIN-LITTLE, Denis J., POWERS, Michelle et CULLEN, Kimberley L., 2018. A survey of risk factors for digit injuries among dogs training and competing in agility events. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. janvier 2018. Vol. 252, n° 1, pp. 75-83. DOI 10.2460/javma.252.1.75.

SICARD, G. K., SHORT, K. et MANLEY, P. A., 1999. A survey of injuries at five greyhound racing tracks. *Journal of Small Animal Practice*. septembre 1999. Vol. 40, n° 9, pp. 428-432. DOI 10.1111/j.1748-5827.1999.tb03117.x.

SIGOGNEAU, Marie, 2019. *Étude observationnelle des facteurs de risques des troubles de performance des chiens de traîneaux lors de la Grande Odyssée 2019*.

SLAUTERBECK, J. R., PANKRATZ, K., XU, K. T., BOZEMAN, S. C. et HARDY, D. M., 2004. Canine ovariohysterectomy and orchiectomy increases the prevalence of ACL injury. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. décembre 2004. N° 429, pp. 301-305. DOI 10.1097/01.blo.0000146469.08655.e2.

SOROKO, Maria, HENKLEWSKI, Radomir, FILIPOWSKI, Henryk et JODKOWSKA, Ewa, 2013. The Effectiveness of Thermographic Analysis in Equine Orthopedics. *Journal of Equine Veterinary Science*. 1 septembre 2013. Vol. 33. DOI 10.1016/j.jevs.2012.11.009.

SUNG, J., LOUGHIN, C., MARINO, D., LEYVA, F., DEWEY, C., UмбаUGH, S. et LESSER, M., 2019. Medical infrared thermal imaging of canine appendicular bone neoplasia. *BMC Veterinary Research*. décembre 2019. Vol. 15, n° 1, pp. 430. DOI 10.1186/s12917-019-2180-6.

THE AMERICAN ACADEMY OF THERMOLOGY, 2019. Guidelines-for-Veterinary-Thermography-2019.pdf. [en ligne]. 2019. [Consulté le 19 janvier 2022]. Disponible à l'adresse : <https://aathermology.org/wp-content/uploads/2018/04/Guidelines-for-Veterinary-Thermography-2019.pdf>

TOMLIN, J. L., LAWES, T. J., BLUNN, G. W., GOODSHIP, A. E. et MUIR, Peter, 2000. Fractographic Examination of Racing Greyhound Central (Navicular) Tarsal Bone Failure Surfaces Using Scanning Electron Microscopy. *Calcified Tissue International*. septembre 2000. Vol. 67, n° 3, pp. 260-266. DOI 10.1007/s002230001129.

TURNER AND SCOGGINS,2, 1985. Thermographic detection of gingering in horses. [en ligne]. 1985. [Consulté le 14 janvier 2022]. Disponible à l'adresse : <https://ur.booksc.eu/ireader/25066006>

TURNER, T. A., 1991. Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*. août 1991. Vol. 7, n° 2, pp. 311-338. DOI 10.1016/s0749-0739(17)30502-3.

VON PFEIL, Dirsko JF, LISKA, William D, NELSON, Stuart, MANN, Sabine et WAKSHLAG, Joseph J, 2015. A survey on orthopedic injuries during a marathon sled dog race. *Veterinary Medicine : Research and Reports*. 20 octobre 2015. Vol. 6, pp. 329-339. DOI 10.2147/VMRR.S88276.

VVF, 2021. Site Web de La Grande Odyssee. *La Grande Odyssee VVF* [en ligne]. 2021. [Consulté le 17 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.grandeodyssee.com/>

WADDELL, Robert E., MARINO, Dominic J., LOUGHIN, Catherine A., TUMULTY, Joshua W., DEWEY, Curtis W. et SACKMAN, Joseph, 2015. Medical infrared thermal imaging of cats with hyperthyroidism. *American Journal of Veterinary Research*. 1 janvier 2015. Vol. 76, n° 1, pp. 53-59. DOI 10.2460/ajvr.76.1.53.

WARD, S, 1998. Infrared thermography: principles and applications. . 1998. pp. 10.

WORTH, Andrew, SANDFORD, M, GIBSON, B, STRATTON, R, ERCEG, Vicki, BRIDGES, Janis et JONES, Boyd, 2013. Causes of loss from active duty for New Zealand Police German Shepherd Dogs. *Animal Welfare*. 1 mai 2013. Vol. 22. DOI 10.7120/09627286.22.2.167.

ZANINELLI, Mauro, REDAELLI, Veronica, LUZI, Fabio, BRONZO, Valerio, MITCHELL, Malcolm, DELL'ORTO, Vittorio, BONTEMPO, Valentino, CATTANEO, Donata et SAVOINI, Giovanni, 2018. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 14 mars 2018. Vol. 18, n° 3, pp. 862. DOI 10.3390/s18030862.

ANNEXES

Annexe 1 : Planning de course de La Grande Odysée 2021

Source : (VVF 2021)

DATES	ETAPES	STATIONS	DISTANCES	DENIVELE
Samedi 9 janvier	Cérémonie d'ouverture	Samoëns	8 km	50mD+ / 50mD-
Dimanche 10 janvier	Etape 1 - Présentée par Francodex	Praz de Lys Sommand Montagnes du Giffre	38 km	990mD+ / 990mD-
Lundi 11 janvier	Etape 2 - Présentée par Zolux	Grand Massif Montagnes du Giffre	28 km	1 370mD+ / 860mD-
Mardi 12 janvier	Etape 3 - Présentée par La Caisse d'Epargne Rhône-Alpes	Les Gets	33 km	1 470mD+ / 1 470mD-
Mercredi 13 janvier	Etape 4	Megève	32 km	800mD+ / 800mD-
Jeudi 14 janvier	Etape 5	Peisey-Vallandry	30 km	610mD+ / 610mD-
Vendredi 15 janvier	Etape 6	Pralognan-la-Vanoise	34 km	1 560mD+ / 1 560mD-
Samedi 16 janvier	Etape 7 - Présentée par La Caisse d'Epargne Rhône-Alpes	Valmorel	27 km	1 320mD+ / 1 390mD-
Dimanche 17 janvier	Etape 8 - Présentée par Wamine	Bessans - Bonneval-sur-Arc	44 km	610mD+ / 550mD-
Lundi 18 janvier	Etape 9	Aussois	26 km	950mD+ / 950mD-
Mardi 19 janvier	Etape 10A - Présentée par EDF	Val Cenis - Base Polaire	43 km	1 550mD+ / 860mD-
Mercredi 20 janvier	Etape 10B - Présentée par EDF	Lac du Mont-Cenis - Val Cenis	35 km	640mD+ / 640mD-

D + : dénivelé positif

D - : dénivelé négatif

Annexe 2 : Commémoratifs des chiens contrôlés

Source personnelle

Nom chien Nom propriétaire	Age	Sexe (F/M)	Stérilisé (O/N)	Race	Longueur du poil	Couleur du poil
Copain Rémi Jullian	4 ans	M	O	Golden Retriever	Mi long	Sable
Kira Camille Morange	1,5 ans	F	O	Golden Retriever	Mi long	Sable
Lilo Lisa Trentin	7 ans	F	O	Beagle	Court	Tricolore : noir, blanc, fauve
Only Aurélien Joulié	4 ans	F	O	Labrador Retriever	Court	Chocolat
Peanuts Valentine Ayot	2.5 ans	F	N	Berger Australien	Mi long	Merle
Pearl Hadrien Lecacheux	2 ans	F	N	Braque de Weimar	Court	Gris
Rolex Fleur Boulet	2 ans	F	O	Golden Retriever	Mi long	Sable
Roméo Manon Madrid	2 ans	M	N	Rhodesian Ridgeback	Court	Fauve

F = Femelle
M = Mâle
O = Oui
N = Non

Annexe 3 : Caractéristiques techniques de la caméra thermique utilisée

Source : Document produit de la marque « Fluke »

FLUKE®

Caractéristiques des caméras Fluke TiR1/R

	Fluke TiR1	Fluke TiR
Thermographie		
Champ de visée (FOV)	23° horizontal x 17° vertical	
Résolution spatiale (IFOV)	2,5 mrad	
Distance de mise au point minimum	15 cm	
Sensibilité thermique (NETD)	≤ 0,07 °C à 30 °C (70 mK)	≤ 0,1 °C à 30 °C (100 mK)
Echelle minimale (automatique/manuelle)	5 °C / 2,5 °C	5 °C / 2,5 °C
Mise au point	Manuel	
Taille du détecteur	160 x 120	
Lumière visible		
Distance de mise au point minimum	46 cm	
Modes d'affichage sur caméra	Incrustation (fusion max., interméd. et min. sélectionnable par l'utilisateur) et thermographie intégrale (fusion max., interméd. et min. sélectionnable par l'utilisateur)	Incrustation intégrale et thermographie intégrale
Objectif photo (image dans le visible)	640 x 480 pixels, polychrome	
Mesure de température		
Gamme de température	-20 °C à +100 °C, 2 gammes	-20 °C à +100 °C
Précision	± 2 °C ou 2 % (selon la valeur la plus élevée)	± 5 °C ou 5 % (selon la valeur la plus élevée)
Modes de mesure	Point central et marqueurs de chaud et froid	Point central
Correction de l'émissivité à l'écran	Oui	Non
Présentation des thermogrammes		
Affichage numérique	Ecran LCD VGA (640 x 480) couleur de 9,1 cm diagonale au format paysage	
Rétro-éclairage de l'écran LCD	Sélectionnable, lumineux ou automatique	
Palettes	Acier, bleu-rouge, haut contraste, ambre, métal chaud, gris	Acier, bleu-rouge, haut contraste, gris
Stockage des thermogrammes et des données		
Totalement radiométrique	Oui	
Support de stockage	Carte SD d'une capacité de 2 Go pour 3 000 thermogrammes .bmp ou 1 200 images IR-Fusion .IS2	
Formats de fichier pris en charge	Exportable aux formats JPEG, BMP, GIF, PNG, TIFF, WMF EXIF et EMP	
Enregistreur vocal (commentaires dictés)	Oui	Non
Paramètres et réglages logiciels		
Logiciel	SmartView : logiciel complet d'analyse et de création de rapports (compris)	
Paramètres de configuration	Date/heure, °C/°F, langue, émissivité, points chauds et froids sur l'image	Date/heure, °C/°F, langue
Choix de langue	Anglais, allemand, français, espagnol, portugais, italien, suédois, finnois, russe, tchèque, polonais, turc, chinois simplifié, chinois traditionnel, coréen, japonais	
Réglages de l'image	Mise à l'échelle lissée automatique et manuelle	
Indications à l'écran	Niveau de batterie, horloge en temps réel et température du point central, indication de la gamme et de la portée et limites d'alarme haute et basse	
Alimentation		
Type de batterie	Batterie rechargeable interne (fournie)	
Autonomie de la batterie	3 à 4 heures d'utilisation continue	
Charge de la batterie	2 heures par chargeur AC ou chargeur de voiture DC (utilisation possible pendant la recharge)	
Fonctionnement sur secteur	Adaptateur/chargeur AC 110/230 V AC, 50/60 Hz	
Economie d'énergie	Arrêt automatique et mode veille (configurables par l'utilisateur)	
Caractéristiques environnementales et mécaniques		
Température de fonctionnement	-10 °C à +50 °C	
Température de stockage	-20 °C à +50 °C	
Humidité relative	Fonctionnement et stockage, 10 à 90 %, sans condensation	
Étanchéité à la poussière et à l'eau	IP54	
Test de chute de deux mètres de haut	Oui	
Cache d'objectif	Oui	
Poids (batterie comprise)	1,2 kg	
Dimensions (HxLxP)	267 mm x 127 mm x 152 mm	
Autre		
Garantie	2 ans	
EN 61010-1 2e édition et EN61326-1	Oui	

Annexe 4 : Conditions des clichés des chiens de course

Source personnelle

Nom chien	Date +/- heure	T° ext.	T° sol	Type de sol	Comportement du chien	Durée blessure – cliché (si chronique)	Artéfacts avant le cliché
Mercuré	09/01 12h30	- 8°C		Neige	Stressé	Post course (2 mois)	Manipulations pour l'examen clinique
Looping	09/01	- 8°C		Neige	Calme	Post course (1 semaine)	
Kastor	09/01	- 8°C		Neige	Calme	Post course (2 mois)	Manipulations pour l'examen clinique
Nazgul	09/01 9h15	-12°C		Neige	Calme	Post course	
Djazy	10/01 10h30	- 12°C	- 18°C	Neige	Très calme	3 jours	
Flèche	10/01	- 12°C	- 18°C	Neige	Agitée	Post course	
Jek	10/01 11h00	- 12°C		Neige	Calme	24 h (10 jours)	
Jek	11/01 11h05	- 6°C		Neige	Calme	Post course	
Djazy	11/01 11h15	- 6 °C		Béton	Calme	Post course	Au soleil + pansement
Nazgul	11/01 11h30	- 6°C		Neige	Stressé	Post course	
Oural	11/01 11h50	- 4°C		Neige	Calme	Post course	
Idéale	11/01 17h00	- 5 °C		Neige	Calme	Post course	
Oural	12/01 10h00	12°C		Béton	Calme	24 h	En intérieur
Hermès	12/01 10h30	12°C		Béton	Calme	24 h (Décembre 2019)	En intérieur Dans l'obscurité
Naïro	12/01 11h30	- 7°C		Neige	Calme	24 h	
Djazy	13/01 11h00	1°C		Neige	Calme	24 h (6 jours)	
Naïro	13/01 12h35	1°C		Neige	Calme	2,5 jours	
Neptune	13/01	10°C		Caoutchouc	Calme	30 min	Dans le camion

Idéale Bonnet Gaunet	14/01 11h40	- 4°C		Neige	Peureuse	Post course	Neige sur fourrure
Naïro Joly	14/01 16h15	1°C		Neige	Calme	30 min	
Platine Coste	15/01 13h25	18 °C		Lino	Calme	2 jours	En intérieur
Corouk Pla	15/01 8h00	-7°C		Neige	Calme	30 min	
Platine Coffre	16/01 10h35	- 10°C		Neige	Calme	Post course	
Irun Lardet	16/01 11h05	- 8°C		Neige	Calme	1 jour (Fracture l'année dernière)	
Mia Fossati	17/01 9h00	- 10°C		Neige	Stressé ++	1 jour	Séance ostéo avant
Irun Lardet	18/01 10h45	- 1°C		Neige	Calme	Post course	
Corouk Pla	18/01 10h58	- 1°C		Neige	Calme	Post course	
Mia Fossati	19/01 11h15	- 3°C		Neige	Stressée ++	Post course	

T° = température

ext = extérieure

Post course = délais compris entre 30 min et 3h après leur arrivée

Annexe 5 : Conditions météorologiques durant la compétition

Source personnelle

Jour	Précipitation	Vent	Qualité neige	T° extérieure
J1 09/01	Aucune	-	Souple	- 8°C
J2 10/01	Aucune	-	Souple ou dure selon les secteurs	- 12°C
J3 11/01	Aucune	-	Souple	- 6°C
J4 12/01	Matin : légère neige (+/-) Après-midi : neige (++)	-	Souple et fraiche	- 7°C
J5 13/01	Aucune	-	Souple	1°C
J6 14/01	Matin : légère bruine Après-midi : Neige (++)	-	Souple et fraiche	- 4°C
J7 15/01	Neige (++)	-	Souple, profonde et fraiche	- 8°C
J8 16/01	Aucune	-	Souple et fraiche	- 10°C
J9 17/01	Aucune	-	Souple	- 1°C
J10 18/01	Aucune	++	Souple	- 3°C

Annexe 6 : Commémoratifs des chiens de course

Source personnelle

Nom chien	Age	Sexe (F,M)	Stérilisé (O/N)	Race	Longueur du poil	Couleur du poil
Mercure	4,5 ans	M	N	H	L	Gris
Looping	4,5 ans	M	N	E	C	Noir
Kastor	20 mois	M	N	E	C	Noir
Nazgul	18 mois	M	N	E	C	Noir
Djazzy	7 ans	M	N	H	L	Gris et blanc
Flèche	10 ans	F	N	H	L	Noir et blanc
Jek	6,5 ans	M	N	H	L	Noir et blanc
Oural	2,5 ans	M	N	E	C	Blanc
Idéale	7 ans	F	N	H	L	Gris
Hermès	3,5 ans	M	N	E	C	Fauve
Naïro	4 ans	M	O	A	L	Noir
Neptune	4 ans	M	O	E	C	Gris merle
Platine	3 ans	F	O	E	C	Sable
Corouk	5 ans	M	N	H	L	Gris
Mia	6 ans	F	O	H	L	Gris
Irun	7 ans	M	N	H	L	Gris

F = Femelle
M = Mâle
O = Oui
N = Non
H = Husky de Sibérie
E = Eurohound
A = Alaskan Husky
L = Long
C = Court

Annexe 8 : Fiche d'examen orthopédique

Source : document ENVT

Examen musculo-squelettique :

Anamnèse :

Membre concerné selon le propriétaire :

Ancienneté de la boiterie :

Evolution :

Type de boiterie :

Boiterie de Soutien Permanente Après le repos
 Boiterie avec appui Intermittente A chaud

Condition d'apparition :

Traumatique Brutale Indéterminée
 Non traumatique Progressive

Traitements préalables et résultats :

Inspection en mouvement :

Membre(s) concerné(s) :

Type de boiterie à l'examen :

Inspection statique :

Aplombs
Déformations
Amyotrophie

	N	A
1/ AD		
2/ AG		
3/ PD		
4/ PG		
5/ Autre		

Description précise :

Palpation, palpation-pression :

Localisation
Chaleur
Douleur
Déformations
Sensations anormales

	N	A
1/ AD		
2/ AG		
3/ PD		
4/ PG		
5/ Autre		

Description précise :

Mobilisation :

Mobilité anormale
Mobilité articulaire
Sensations anormales
Instabilité
Douleur

	N	A
1/ AD		
2/ AG		
3/ PD		
4/ PG		
5/ Autre		

Description précise :

Hypothèses diagnostiques :

Annexe 9 : Examen orthopédique des chiens course

Source personnelle

Nom animal	Articulation concernée	Examen orthopédique	Score de Douleur
Mercure	Carpe G	Gonflement médial du carpe droit, sous cutané, sans chaleur. Boiterie d'appui. RAS à la mobilisation	0/9
Looping	Tarse D	Gonflement et induration de l'insertion de la corde du jarret droit/insertion du tendon sur le calcanéum. Œdème et chaleur. Boiterie il y a 48h	0/9 (douleur il y a 48h)
Kastor	Main G	Boiterie intermittente : Inconfort, craquement, course « de travers »	0/9
Nazgul	Carpe D et coude D	Défaut d'extension du carpe D et exo-rotation du coude D. Pas de boiterie.	0/9
Djazy	Main G 2 ^{ème} doigt	Diminution de l'appui en statique sur son membre antérieur G Boiterie au pas et au trot, palmigrade. Gonflement et chaleur interdigité, report de poids sur l'antérieur D.	5/9
Jek	Epaule D	Refus d'extension et craquement. Irrégularité à la marche et au trot : boiterie	5/9
Flèche	Grasset D	Pas de boiterie, craquement et défaut d'extension, signe du tiroir douteux	2/9
Oural	Coude G	Ligament collatéral médial « anormal », moins souple, réticence à la flexion, membre en légère exo-rotation	1/9
Idéale	Carpe G	Pas de boiterie, présence de chaleur et d'un gonflement sur la zone dorso latérale, partie proximale de l'articulation. Réticence à la flexion	3/9
Hermes	Tarse G	Présence d'un gonflement et d'une poche liquidienne, avec boiterie à froid. Suspicion de tendinite	0/9
Naïro	Carpe D	Vocalise à la flexion, chaleur ressentie, gonflement et boiterie	5/9
Neptune	Antérieur D Postérieur G	<i>Douleur à la manipulation = contracture du triceps D, tendon et biceps D et psoas G</i>	7/9
Platine	Carpe D	Vocalise à l'extension, « intra carpe » : anomalie interosseuse, pas de gonflement, pas de boiterie	4/9
Corouk	Postérieur G	<i>Contracture, pas de boiterie, suite à un écart violent</i>	2/9
Mia	Coude G	Défaut d'extension du coude G, boiterie depuis la veille (parfois boiterie à l'entraînement)	0/9
Irun	Main D	Boiterie intermittente, fractures des métacarpes 3 et 4 l'an dernier	2/9

G = Gauche
D = Droit

Annexe 10 : Examen complémentaire et traitement des chiens de course

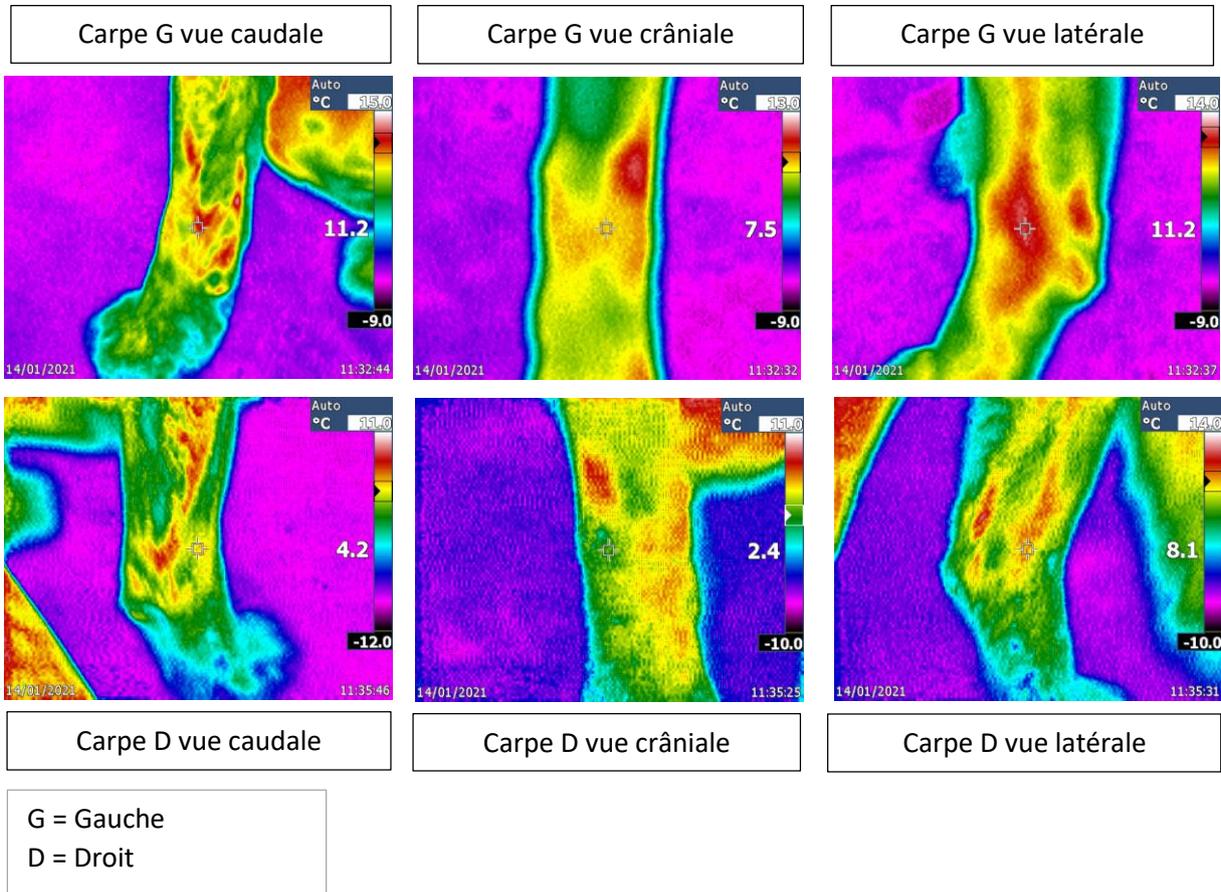
Source personnelle

Nom Chien	Date	Articulation concernée	Examen complémentaire	Anomalie(s)	Traitement et suivi
Mercure	11/01	Carpe G	Echographie	Ligament avec épaisseur doublée (de 2,4 mm à 5,5 mm)	Pas de traitement mis en place
			Radiographie	Remodelage des tissus mous	
Nazgul	10/01 11/01	Coude D Carpe D	Ostéopathie	« Torsion » de l'ulna	Manipulation ostéopathique du coude
Djazy	10/01	Doigt 2 main G	Radiographie	RAS sur la radiographie : suspicion panaris	Pansement changé tous les jours : crème de phytothérapie (Doloflamil®), pansement éponge eau chaude bétadine, pas de médicament à ce jour, bottine 13/01 : Ne va pas mieux, douleur, gonflement, chaleur Sorti de course + Meloxicam et Amoxicilline/Acide clavulanique + tonte
Jek	10/01	Epaule D	Radiographie	RAS	Massage chaud, mobilisation en extension + Doloflamil®
Flèche	10/01	Grasset D	Radiographie	RAS	
Oural	11/01	Coude G	Ostéopathie	Coude G porté vers l'extérieur	Déblocage des vertèbres thoraciques et travail sur les ligaments
	12/01		Echographie	Inflammation du ligament du coude G = entorse. Enthésopathie du ligament collatéral médial	Repos pendant 2 mois, massages, chaud, gel anti inflammatoire Conseils : laser, ondes de chocs 13/01 : droppé
Hermès	12/01	Tarse G	Echographie et Radiographie	Gaine tendineuse liquidienne. Anomalie du ligament collatéral médial. Tendinite du gastrocnémien	Hydrothérapie + laser sur les 2 ligaments collatéraux et le tendon, une fois par semaine pendant 5 semaines
Platine	15/01	Carpe D	Echographie	Desmiste d'un ligament interosseux (diagnostic par exclusion)	Repos + Doloflamil®
Irun	16/01	Main D	Radiographie	Doigt 4 cicatrice en biseau Doigt 3 cicatrice dans l'axe → Contrainte mécanique = force sur les ligaments interosseux : provoque une inflammation +/- tendinite fractures des métacarpes 3 et 4	Repos 2-3 jours : droppé

G = Gauche
D = Droit

Annexe 11 : Images constituant un thermogramme de carpe (partie carpe seulement)

Source personnelle



**UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE LORS D’AFFECTIONS OSTEO-ARTICULAIRES SUR LES CHIENS DE
TRAINEAUX LORS DE LA GRANDE ODYSSEE 2021 : ETUDE EXPERIMENTALE**

RESUME : Les conditions environnementales lors d’une course de chien de traineaux dans les Alpes amènent à repenser les techniques médicales et paramédicales spécifiques afin d’assurer le suivi de la santé des chiens en course. Athlètes de haut niveau, ils parcourent de nombreux kilomètres pendant plusieurs jours, sur des dénivelés souvent très importants. Les affections ostéo-articulaires sont donc parmi les pathologies les plus fréquemment rencontrées lors d’une telle épreuve, et il est capital de les prendre en charge rapidement. Cette approche expérimentale vise à évaluer la pertinence de l’imagerie thermique par infrarouge comme outil de détection d’affections ostéo-articulaires en condition de compétition. Après une étude préliminaire sur chien sain lors de l’édition 2020, 16 chiens de traineaux suspectés de présenter une affection ostéo-articulaire lors de l’édition de La Grande Odyssée 2021, ont été inclus dans l’étude. Des images de thermographie ont été prises au niveau de l’articulation atteinte, des 2 articulations adjacentes ainsi que du membre contro-latéral et les températures obtenues ont été comparées. De plus, une population contrôle composée de 8 individus a permis la validation de notre technique analytique. Suite à l’analyse des images thermiques obtenues, les résultats n’ont globalement pas permis de détecter de différences significatives entre des clichés thermographiques d’articulations saines et des clichés d’articulations atteintes d’affections ostéo-articulaires. Lorsqu’une différence existait, le côté lésé était significativement plus froid que le côté sain pour les articulations lésées et distales. Cette étude suggère donc que la thermographie n’est pour l’instant pas un outil de détection pertinent sur le terrain pour explorer les lésions ostéo-articulaires chez le chien de traineau en condition de course et que des études plus complètes sont à envisager.

MOTS CLES : thermographie ; articulations ; boiterie ; chien de sport ; course

**USE OF THERMOGRAPHY IN OSTEO-ARTICULAR INJURIES IN SLEDDING DOGS DURING « LA GRANDE ODYSSEE
2021 » : EXPERIMENTAL STUDY**

SUMMARY : Environmental conditions during a sledding dogs race lead to rethink specific medical and paramedical techniques in order to guarantee aftercare of dog in race. Those dogs are high-level athletes, and they cover a lot of kilometers with significant elevation gain, during several days. Therefore, osteo-articular injuries occur frequently in such an event, so it is essential to take care of it quickly. This experimental approach aims to assess thermography imaging as tool of osteo-articular injuries detection in competition conditions. Following a preliminary study on healthy dogs during the race 2020, 16 sledding dogs suspected having a osteo-articular injury during La Grande Odyssée 2021 have been included in our study. Thermal images of affected joint, both adjacent joints, and contralateral limb have been taken, and temperatures obtained been compared. Moreover, a control group with 8 individuals validates our analytic technical. Following the analysis of resulting images, we have not been able to detect significant differences between injured joints picture and healthy joint picture. When a difference existed, the injured side was colder than the healthy side for injured joints and distal joints. This study suggests that thermography imaging should not be a relevant tool out in the field to investigate osteoarticular injuries and more studies are needed.

KEYWORDS : thermography ; joints ; lameness ; sport dogs ; race