

**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2020 - Thèse n°059

***CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ADAPTATION A L'EFFORT  
DE CHIENS DE CANICROSS PAR REALISATION DE TESTS  
D'EFFORT SUR TAPIS DE COURSE ET PROPOSITION D'UN  
PLAN D'ENTRAINEMENT.***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 23 octobre 2020  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*FOUBERT Lise*  
Née le 25 mars 1994  
à COLMAR (68)



VetAgro Sup





**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2020 - Thèse n°059

***CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ADAPTATION A L'EFFORT  
DE CHIENS DE CANICROSS PAR REALISATION DE TESTS  
D'EFFORT SUR TAPIS DE COURSE ET PROPOSITION D'UN  
PLAN D'ENTRAINEMENT.***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 23 octobre 2020  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*FOUBERT Lise*  
Née le 25 mars 1994  
à COLMAR (68)



VetAgro Sup





## Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (01-09-2019)

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



# REMERCIEMENTS DU JURY

**À Monsieur le Professeur Gilles RODE**

*De l'Université Claude Bernard Lyon 1, Faculté de médecine de Lyon.*

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.  
Hommages respectueux.

**À Monsieur le Professeur Jean-Jacques THIEBAULT**

*De VetAgro Sup, Campus vétérinaire de Lyon.*

Pour m'avoir encadré dans mon travail en tant que premier assesseur, pour votre bienveillance et vos conseils lors de l'élaboration du manuscrit.  
Mes plus sincères remerciements.

**À Madame le Professeur Jeanne-Marie BONNET-GARIN**

*De VetAgro Sup, Campus vétérinaire de Lyon.*

Pour avoir accepté, en tant que second assesseur, de juger mon travail et pour l'intérêt que vous lui portez.  
Sincères remerciements.





## REMERCIEMENTS PERSONNELS

**A mes parents**, pour avoir toujours été là pour moi et pour vos encouragements tout au long de mon parcours

**A mes sœurs, Laure et Diane**, pour m'avoir apporté soutien et motivation

**A Tim** pour sa patience et son précieux soutien lors de mes deux dernières années d'études

**A tous les participants de cette thèse :**

**Cindy Duport** avec Spike, Roméo, Nova et Leader

**Mélanie Vermot** avec KJ, Kyana, Kiska et Kanakin

**Fabien Drugeon** avec Hopla et Helika

**Quentin Fichet** avec Gypsie

**Jamie**, mon chien

**David Taupin** avec Abys

**Annabelle Kersuzan** avec Askja

**Anne Fulleringer** avec Nerka

**Charles Deslandes** avec June

**Davis Trias** avec Jazz

**Marine Bertin** avec Kuro

**Marion Richard** avec Mooky

**Lucie Quinson** avec Hyago

**Charlotte Souillard** avec Cayak

**Josie Gauthier** avec Okun

**Laureen Gili** avec Mynavy

**Jean Desbordes** avec Jango

**Solène Morant** avec Ataxie

Aux Professeurs **Jean Luc Cadore** et **Emilie Krafft** pour leurs conseils qui ont guidé mes réflexions tout au long de ce travail

**A la FSLC, Yvon Lasbleiz et Jacques Adam** pour leur aide et encouragements pour la réalisation de travaux de recherche visant à promouvoir et améliorer le canicross



# SOMMAIRE

TABLE DES ABREVIATIONS.....	15
TABLE DES TABLEAUX.....	17
TABLE DES FIGURES.....	19
TABLE DES ANNEXES.....	21
INTRODUCTION .....	23
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....	25
I)    LES SPORTS DE TRACTION MONO-CHIEN .....	25
1) Histoire du canicross.....	25
a) Naissance du canicross.....	25
b) Le bike joering, le ski joering et la trottinette .....	26
c) La diffusion en Europe et dans le monde.....	27
2) Organisation internationale : les différentes fédérations.....	27
3) Les courses et championnats : des courses locales jusqu'aux championnats.....	29
a) Les courses locales.....	29
b) Les championnats .....	29
4) Règlement du canicross et matériel .....	30
5) Choisir son chien de canicross.....	30
6) Les pathologies spécifiques du chien de canicross .....	33
a) Lésions des coussinets .....	33
b) Les épillets, chenilles processionnaires et les tiques.....	33
c) Le SDTE, syndrome de dilatation-torsion de l'estomac .....	34
d) Le coup de chaleur.....	34
e) Les affections musculaires .....	35
f) Le dopage involontaire .....	38
II)    LA PHYSIOLOGIE DE L'EFFORT.....	39
1) Le système cardiovasculaire et respiratoire au cours de l'effort .....	39
a) Le système cardiovasculaire : cœur, vaisseaux et sang.....	39
b) Le système respiratoire .....	43
2) Le fonctionnement musculaire.....	44
3) Les filières métaboliques énergétiques .....	49
4) La dette en dioxygène.....	56
5) La température et la polypnée thermique.....	57
6) Problématique de détermination d'un seuil aérobie-anaérobie chez le chien à l'effort .....	58
7) Adaptation à l'effort.....	59
8) Stress oxydatif généré par l'effort.....	60
9) Les marqueurs biochimiques au court de l'effort .....	61
a) La glycémie :.....	61
b) Les lactates sanguins (L-lactates) .....	62
c) Enzymes musculaires .....	62
d) Albumine et protéines totales.....	63
e) Protéine CRP Randox .....	64
f) L'ionogramme .....	64
10) Mesure du stress oxydatif : .....	64

a) Les marqueurs du stress oxydatif.....	64
b) Mesure de la fluidité membranaire érythrocytaire par Résonance Paramagnétique électronique (RPE) .....	65
III)    ENTRAÎNEMENT ET PREPARATION PHYSIQUE .....	69
1) Différences entre athlète humain et canin.....	69
2) Principe de l'entraînement.....	70
3) Evaluer l'état de santé et d'entraînement initial du chien .....	70
4) L'entraînement en continu.....	71
5) L'entraînement fractionné.....	72
a) Généralités .....	72
b) Séance pour l'amélioration de la filière énergétique anaérobie lactique.....	73
c) Séance pour l'amélioration de la filière énergétique aérobie .....	74
d) Le développement de la force musculaire par un exercice fractionné .....	74
6) Environnement physique et performance sportive : température et altitude.....	76
7) L'échauffement avant l'entraînement et la récupération post-entraînement.....	77
8) Alimentation et hydratation autour de l'entraînement .....	79
9) Evolution de l'entraînement en fonction du temps et constitution d'un planning .....	82
10) Le surentraînement .....	83
PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE.....	85
I) MATERIEL ET METHODES .....	85
1) Animaux : Sélection des candidats aux tests et détails des chiens participant à l'étude .....	85
2) Matériel pour la réalisation des tests d'effort.....	88
a) Tapis roulant .....	88
b) Matériel de canicross .....	89
c) Holter ECG .....	89
3) Protocole expérimental .....	90
4) Techniques et méthodes analytiques.....	93
a) La lactatémie.....	93
b) L'hématocrite.....	94
c) Les paramètres biochimiques .....	96
d) Analyses statistiques .....	96
5) Mesure de la dynamique lipidique membranaire érythrocytaire par RPE : .....	98
a) Technique de marquage des membranes érythrocytaires :.....	98
b) Réglages du spectromètre de RPE : .....	99
II) RESULTATS DES TESTS D'EFFORT .....	101
1) Etude descriptive : .....	101
a) Performances au test d'effort : .....	101
b) Paramètres cardiaques.....	102
c) Paramètres des filières énergétiques : .....	105
d) Muscles squelettiques : .....	109
e) Electrolytes : .....	112
f) Fluidité membranaire érythrocytaire : .....	116
2) Discussion.....	119
a) Performances aux tests d'effort.....	119
b) Paramètres cardiaques.....	119

c) Paramètres biochimiques .....	120
d) Paramètres musculaires.....	121
e) Electrolytes .....	123
f) Fluidité membranaire érythrocytaire .....	125
III) DISCUSSION SUR L'EFFORT ET ELABORATION D'UN PLAN D'ENTRAINEMENT RATIONNEL DU CHIEN DE CANICROSS .....	127
1) Les biais de l'étude .....	127
2) Eléments d'entraînement favorables à l'adaptation à un effort de canicross .....	129
a) Chiens entraînés avec des séances en fractionné.....	129
b) Chiens entraînés avec des séances en continu uniquement.....	130
c) Alimentation du chien sportif.....	130
3) Recommandations d'entraînement et proposition d'un plan d'entraînement de canicross .....	131
a) Détermination de l'objectif et de la période préparatoire.....	131
b) Typologie des séances d'entraînement .....	131
c) Repos et récupération.....	132
d) Environnement de travail.....	132
e) Progressivité du plan d'entraînement.....	133
f) Proposition d'un plan d'entraînement .....	134
CONCLUSION .....	137
BIBLIOGRAPHIE .....	139
ANNEXES .....	143



# TABLE DES ABREVIATIONS

Acétyl CoA : Acétyl Coenzyme A  
ADP : Adénosine Diphosphate  
AG : Acides Gras  
AGi/AGs : Acides gras insaturés/acides gras saturés  
ALAT : Alanine Aminotransférase  
ASAT : Asparate Aminotransférase  
ATP : Adénosine Triphosphate  
BARF : Bones And Raw Foof /ou Biologically Appropriate Rax Food  
BE : Besoin Energétique  
bpm : battement par minute  
bt : battement  
Ca : Calcium  
CAHDS : Canadian Association Harness Dog Sport  
CaO<sub>2</sub> : Contenu artériel en Oxygène  
CK : Créatine Kinase  
Cl : Chlore  
CNEAC : Commission Nationale Education et Activités Cynophiles  
CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone  
CPT : Capacité Pulmonaire Totale  
CV : Capacité Vitale  
CvO<sub>2</sub> : Contenu veineux en Oxygène  
ECF : European Canicross Federation  
ECG : Electrocardiogramme  
ENA : Energie Non Azotée  
EPOC : Excess Post-exercice Oxygen Consumption  
F : Femelle  
FAC : Fédération Athlétique Canine  
FADH<sub>2</sub> : Flavine Adénine Dinucléotide  
FC : Fréquence Cardiaque  
FCI : Fédération Cynologique Internationale  
FE : Fraction d'Ejection  
FFPTC : Fédération Française de Pulka et Traîneau à Chiens  
FFST : Fédération Française des Sports de Traîneau  
FISTC : Fédération Internationale des Sports de Traîneau à Chiens  
FSLC : Fédération des Sports et Loisirs Canins  
GAG : Glucoaminoglycanes  
H<sup>+</sup> : Protons  
ICF : International Canicross Federation  
IFSS : International Federation of Sleddog Sports  
K : Potassium  
Kcal : Kilocalorie  
LDH : Lactate Deshydrogénase  
M : Mâle  
MACQ : Mushers et Athlètes Canins du Québec  
min : minute  
mL : millilitre  
MS : Matière Sèche  
mT : milli Tesla  
Na : Sodium  
NAD<sup>+</sup> : Nicotinamide Adénine Dinucléotide  
NADH : coenzyme réduit de NAD<sup>+</sup>  
NEC : Note d'Etat Corporel  
O<sub>2</sub> : dioxygène  
PA : Pression Artérielle moyenne  
PaCO<sub>2</sub> : Pression partielle artérielle en dioxyde de carbone

PAL : Phosphatase Alcaline  
PaO<sub>2</sub> : Pression partielle artérielle en oxygène  
PCO<sub>2</sub> : Pression partielle en dioxyde de carbone  
Pi : Phosphate inorganique  
PMA : Puissance Maximale Aérobie  
PO<sub>2</sub> : Pression partielle en oxygène  
PV : Poids Vif  
Qc : Débit cardiaque  
QO<sub>2</sub> : Quantité d'oxygène captée par le sang  
RPE : Résonance Paramagnétique Electronique  
V : Variance  
VEGF : Vascular Endothelial Growth Factor  
VES : Volume d'Ejection Systolique  
VFD : Volume de Fin de Diastole  
Vit : Vitamine  
VO<sub>2</sub>max : Consommation maximale d'oxygène  
VR : Volume Résiduel  
WSA : World Sleddog Association  
X : chien de race croisée  
16-DS ou 16-NS : 16 doxyl acide stéarique  
5-DS ou 5-NS : 5 doxyl acides stéarique



# TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé des différents types de séances fractionnées selon l'objectif de travail.

Tableau 2 : Objectifs, avantages et inconvénients des séances en continu et en fractionné.

Tableau 3 : Apports principaux en macronutriments de quelques aliments.

Tableau 4 : Présentation des chiens participants à l'étude.

Tableau 5 : Alimentation des chiens sportifs et constitutions analytiques

Tableau 6 : Fréquences cardiaques de repos des chiens de l'étude.

Tableau 7 : Rapport Albumine/Globuline des chiens avant le test d'effort.

Tableau 8 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon réalisé sur les résultats des lactates.

Tableau 9 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de glycémie.

Tableau 10 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de CK

Tableau 11 : Valeurs moyennes +/- écart type des CK, ASAT et LDH

Tableau 12 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats des ASAT.

Tableau 13 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de LDH.

Tableau 14 : CRP en mg/L des chiens sportifs et sédentaires avant et après le test d'effort.

Tableau 15 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de CRP.

Tableau 16 : Valeurs moyennes +/- écarts types du calcium avant et après l'effort chez les entraînés et chez les sédentaires.

Tableau 17 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de chlorémie.

Tableau 18 : Moyennes des kaliémies avant et après effort

Tableau 19 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de Tc

Tableau 20 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les degrés d'ordre

Tableau 21 : Proposition d'un plan d'entraînement.



# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Fabien Drugeon et Hopla en canicross

Figure 2 : Anne Fulleringer au championnat du monde ICF en Pologne en 2018.

Figure 3 : Annabelle Kersuzan avec Askja en Ski-joering

Figure 4 : Quentin Fichet en cani-trottinette avec Gipsy.

Figure 5 : Organisation générale des fédérations de sports de traîneau et canicross

Figure 6 : Baudrier de traction, ligne de trait élastique et harnais adapté à un Berger Belge Malinois

Figure 7 : Alaskan appartenant au musher Allemand Ullrich Kuhn, plus typés chiens de chasse.

Figure 8 : Alaskan Husky, de l'élevage Alaskan du nord au Québec, chien de type nordique

Figure 9 : Greysters

Figure 10 : Eurohound

Figure 11 : distances et températures de course en fonction des catégories

Figure 12 : muscle Sartorius

Figure 13 : Vue latérale du membre pelvien gauche : muscle semi- tendineux

Figure 14 : Muscle semi-membraneux

Figure 15 : Circulation systémique et circulation pulmonaire

Figure 16 : Représentation schématique de l'hémoglobine

Figure 17 : Courbe de saturation de l'hémoglobine en O<sub>2</sub> en fonction de la pression partielle en O<sub>2</sub>.

Figure 18 : Schéma de la structure du cœur

Figure 19 : Schéma de la structure du muscle squelettique

Figure 20 : Schéma de myofilaments d'actine et de myosine en contraction et relâchés

Figure 21 : Le cycle mécano-chimique des têtes de myosine.

Figure 22 : Schéma des protéines de troponine et de tropomyosine sur une portion de filament d'actine

Figure 23 : structure d'une molécule d'ATP

Figure 24 : La glycolyse

Figure 25 : Fermentation lactique du pyruvate.

Figure 26 : Oxydation du pyruvate en Acétyl Coenzyme A

Figure 27 :  $\beta$ -oxydation des acides gras dans l'hélice de Lynen

Figure 28 : Le cycle de Krebs

Figure 29 : Chaîne respiratoire mitochondriale

Figure 30 : Voie métabolique en fonction de la puissance mécanique du muscle et de la durée de l'exercice.

Figure 31 : Répartition des sources d'énergie lors d'un exercice à 70 % de la VO<sub>2</sub>max chez l'homme

Figure 32 : Représentation de la dette en oxygène chez l'homme.

Figure 33 : Courbe théorique de la lactatémie par rapport au pourcentage de VO<sub>2</sub>max.

Figure 34 : Sondes 5-NS et 16-NS et domaines membranaires explorés

Figure 35 : Spectre RPE d'érythrocytes marqués au 16-NS (et critères de détermination du temps de corrélation-relaxation).

Figure 36 : Spectre RPE d'érythrocytes marqués au 5-NS (et critères de détermination du degré d'ordre).

Figure 37 : Courbe de la fréquence cardiaque au cours d'une séance fractionnée chez l'homme.

Figure 38 : Evaluation de la note d'état corporelle sur une échelle de 1 à 9.

Figure 39 : Le tapis roulant grande vitesse dans la salle climatisée.

Figure 40 : Système d'attache du chien au tapis roulant par son harnais de traction et une ligne de trait élastique.

Figure 41 : Tracés ECG sur le logiciel Vision Serie Holter System.

Figure 42 : Mise en place des électrodes au niveau du cœur à gauche du chien.

Figure 43 : Bande de contention autoadhésive et de Tensoplast® maintenant les électrodes en place.

Figure 44 : Fixation du Holter ECG sur le harnais et le collier du chien.

Figure 45 : Lecteur Accutrend Plus® et bandelettes pour la mesure de la lactatémie.

Figure 46 : Centrifugeuse à micro-hématocrite Haemofuge Heraeus®.

Figure 47 : Tubes capillaires

Figure 48 : Pâte à sceller (cire).

Figure 49 : Plateau et couvercle de centrifugeuse à micro-hématocrite

Figure 50 : Réglette de lecture du résultat de l'hématocrite.

Figure 51 : Appareil de mesure biochimique Konélab 20®

Figure 52 : Schéma du spectromètre et de l'installation pour la lecture des spectres de RPE.

Figure 53 : Photo du spectromètre et du plan de travail pour la lecture des spectres de RPE.

Figure 54 : Photo de l'écran d'ordinateur affichant un spectre de RPE avec une sonde 5-NS.

Figure 55 : Fréquence cardiaque maximale atteinte par les chiens au cours du test d'effort

Figure 56 : Temps de récupération des chiens après le test d'effort

Figure 57 : Hématocrites des chiens avant et après le test d'effort.

Figure 58 : Albumines des chiens mesurées avant l'effort.

Figure 59 : Protéines totales avant et après l'effort.

Figure 60 : Lactates sanguins des chiens avant et après le test d'effort.

Figure 61 : Glycémie des chiens avant et après le test d'effort.

Figure 62 : Créatine kinase plasmatique des chiens avant et après l'effort.

Figure 63 : ASAT des chiens avant et après le test d'effort.

Figure 64 : Lactate déshydrogénase plasmatique des chiens avant et après l'effort.

Figure 65 : Calcium plasmatique des chiens avant et après le test d'effort.

Figure 66 : Na<sup>+</sup> des chiens avant (1) et après (2) l'effort représenté avec l'intervalle de référence.

Figure 67 : Cl<sup>-</sup> des chiens avant (1) et après (2) l'effort représenté avec l'intervalle de référence.

Figure 68 : K<sup>+</sup> des chiens avant (1) et après (2) l'effort représenté avec l'intervalle de référence.

Figure 69 : Temps de corrélation-relaxation avant et après le test d'effort.

Figure 70 : Différence des Tc avant et après le test d'effort.

Figure 71 : Degré d'ordre des chiens avant et après le test d'effort

Figure 72 : Différence de degré d'ordre S avant et après le test d'effort

Figure 73 : Augmentation du potentiel avec la sommation des séances d'entraînement (a) et phénomène de surcompensation avec des séances rapprochées suivies d'une période prolongée de récupération (b)

## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Consignes d'entraînement données aux maîtres des chiens entraînés.

Annexe 2 : Consentement éclairé.

Annexe 3 : Résultats des tests d'effort.

Annexe 4 : Tracés ECG des sportifs.

Annexe 5 : Tracés ECG des sédentaires.



# INTRODUCTION

Tout sportif doit être préparé en vue de son objectif, quel qu'il soit, selon un plan d'entraînement spécifique et adapté. Ces stratégies d'entraînement sont basées sur des principes de physiologie spécifiques de l'effort qui leur sera demandé lors de la compétition. De nombreuses études ont été réalisées sur les efforts des chevaux de sport, sur les chiens de traîneau, les lévriers de course, les chiens d'agility, et même sur les chiens de police ou les chiens guides. Les sports canins dérivant des sports de traîneau tels que le canicross, le bike-joering ou le scooter (aussi appelée en français la trottinette), se développent avec notamment l'apparition de toujours plus de clubs au sein des différentes fédérations à travers la France. Ce sont des sports de traction sur des distances plutôt courtes (comparées aux courses de traîneau longues distances) et de nombreuses questions se posent sur les modalités d'entraînement préparant à de tels efforts. Actuellement, les méthodes d'entraînement se basent sur une analogie avec l'athlète humain de demi-fond, en considérant que le chien fournit un effort de haute intensité sur une durée plus longue que celle d'un vrai sprint. Or les études ont montré que les chiens de traîneau longues distances utilisaient principalement les filières énergétiques lipidiques, et d'autre part, les lévriers de course étant une catégorie bien à part de chiens de sport, ils sont plus sur un métabolisme anaérobie avec production d'acide lactique. Nous avons encore peu de source d'information à propos de la physiologie de l'effort des chiens de canicross ou des autres sports de traction similaires. Nous pourrions émettre l'hypothèse qu'ils ont un métabolisme intermédiaire entre celui des chiens de traîneau longues distances et celui des lévriers de course. Cette étude a donc pour objectif de contribuer à caractériser, à l'aide de marqueurs biochimiques et physiologiques, un effort type de chiens de canicross afin de préciser l'impact qu'il a sur leur organisme. Et dans un second temps, nous étudierons les adaptations à l'effort que procure un entraînement supposé spécifique actuellement mis en pratique sur le terrain en vue de la préparation aux compétitions de canicross. Dans un dernier temps, nous nous proposerons de présenter, en accord avec les données physiologiques et biologiques recueillies, un plan d'entraînement adapté à la pratique de ce sport.

[1] [3] [4] [5]





# **PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I) LES SPORTS DE TRACTION MONO-CHIEN**

### **1) Histoire du canicross**

#### **a) Naissance du canicross**

En 1982, un étudiant vétérinaire de Lyon, Gilles Pernoud eut l'idée d'organiser le premier cross canin à Paris avec le syndicat des vétérinaires dans un esprit d'éducation du chien plutôt qu'un esprit sportif : les maîtres courent ou marchent avec leur chien attaché au collier puisque le matériel de canicross n'a pas encore été inventé. En 1986, deux vrais canicross sont organisés à St Pierre d'Allevard et à Marignane. En 1988, G. Pernoud crée le club de canicross 4PAT avec lequel il organise le premier canicross à l'école vétérinaire de Lyon. En 1989, le club 4PAT organise le premier challenge de canicross réunissant 4 courses : Lyon, St. Pierre d'Allevard, Marignane et Callian. Et c'est d'ailleurs à ce moment-là que les premiers règlements de canicross apparaissent, interdisant par exemple de courir devant son chien, et mettant en avant le respect de l'animal.

Cette période est aussi marquée par la présence de « Gens de la montagne », fabriquant de matériel de canicross notamment et qui propose à l'occasion des courses des harnais de traction pour les chiens et des ceintures pour les maîtres afin d'améliorer leur confort de course.

Jusqu'à 1994, le canicross s'est développé jusqu'à atteindre une vingtaine de courses en France. Cette même année, la première fédération française de canicross est née, la FFCC (Fédération Française de Cross Canin).

En 2000 le premier long week-end de canicross à la montagne est organisé, le 4PAT cross des montagnes, et il prendra ensuite de l'ampleur pour devenir un trophée sur une semaine réitéré chaque année. Aujourd'hui, l'équivalent de ce trophée est le TDM (Trophée Des Montagnes) organisé par Yvon Lasbleiz et le club TDM (Figure 1).



*Figure 1 : Fabien Drugeon et Hopla en canicross*

## **b) Le bike joering, le ski joering et la trottinette**

Ces sports sont d'autres sports de traine à un ou deux chiens dans lesquels un vélo, un skieur ou une trottinette se font tracter. Ils font partie des catégories de courses organisées par la fédération des sports mono-chiens, la FSLC.

Le bike-joering (Figure 2) est créé en 1990 en République Tchèque lorsque la neige fit défaut pour une course de ski-joering. Les organisateurs devaient trouver un moyen de maintenir la course malgré le manque de neige et ils ont eu l'idée d'atteler les chiens aux vélos. Puis plusieurs courses de bike-joering sont organisées en parallèle des courses de canicross avec pour règle de ne pas pédaler pour aider le chien à la traction du vélo. Le règlement est ensuite modifié et le maître doit au contraire aider le chien sous peine de pénalités. De même, auparavant, la ligne de trait du chien était reliée à l'extrémité d'une barre fixée au cadre et évitant à la laisse de se prendre dans la roue avant du vélo. Alors que maintenant, la ligne de trait doit impérativement être attachée directement au cadre du vélo, et passer ensuite dans la barre de traction.



*Figure 2 : Anne Fulleringer en 2018.*

Le ski-joering (Figure 3) est introduit en France par Serge Morel sur le Trophée de Savoie en 1997 qui eut lieu ensuite plusieurs années de suite. Avant le ski-joering, on ne parlait que du ski pulka, le chien tractant un petit traineau et étant également relié au maître en ski de fond.



*Figure 3 : Annabelle Kersuzan avec Askja en Ski-joering*

La cani-trottinette (Figure 4), venue d'Amérique du Nord, est apparue en France beaucoup plus tard et elle se développe seulement depuis quelques années. Elle se pratique avec un chien ou deux, selon la fédération organisatrice.



*Figure 4 : Quentin Fichet en cani-trottinette avec Gipsy.*

Pour la suite, nous aborderons uniquement le sujet du canicross, bien que le bike-joering, le ski-joering et la cani-trottinette soient des disciplines très intéressantes à intégrer dans la préparation physique du chien de canicross.

### **c) La diffusion en Europe et dans le monde**

Le premier championnat d'Europe de canicross eut lieu en 1998 à Malonne en Belgique et le second en 1999 au parc de Gerland à Lyon organisé par G. Pernoud. Puis dans l'ordre : Valeyre sous Rance (Suisse, 2000), Pilsen (République Tchèque, 2001), Spa (Belgique, 2002), Pomiechowek (Pologne, 2003), Szilvasvarad (Hongrie, 2004), Saignelégier (Suisse, 2005), Nancy (France, 2006), Völklingen (Allemagne, 2007) etc. Le canicross se répand dans toute l'Europe et même sur les autres continents. A titre d'exemple, le canicross est arrivé au Canada dans les années 2000 grâce à la française Amélie Janin qui organisa les premiers événements au Québec. En 2012, la première fédération provinciale de canicross est née, nommée aujourd'hui la MACQ, Mushers et Athlètes canins du Québec, ainsi que la fédération canadienne, la CAHDS, Canadian Association Harness Dog Sport. Depuis les années 2010, le canicross s'est développé encore plus rapidement avec l'apparition de plus en plus de clubs. Aujourd'hui, le canicross au Canada se concentre surtout au Québec avec une douzaine de courses de canicross organisées chaque année et plus de 2000 membres actifs. Des sélections pour les championnats du monde y sont également organisées. [Genevieve Baril, 2020].

[6] [7] [8]

## **2) Organisation internationale : les différentes fédérations**

En France, les sports de traction canins ont la particularité d'être organisés en plusieurs fédérations. Cependant l'Etat, *via* le ministère des sports, ne donne la délégation qu'à une seule fédération des sports de tractions qui est à l'heure actuelle la FFST, Fédération Française des Sports de Traîneau.

La FFST est créée en 1996 lors d'une scission avec la FFPTC sur des désaccords quant à la participation aux courses de chiens de races différentes des pures races nordiques. En effet, la FFPTC est la Fédération Française de Pulka et de Traîneau à Chiens qui pratique les sports de traîneau mais uniquement avec des chiens de race nordique (Husky de Sibérie, Malamute d'Alaska, Samoyède et Groenlandais). La FFPTC est aussi agréée par le ministère des sports et a pour vocation de préserver les races nordiques.

Puis, en 1996, la FAC, Fédération Athlétique Canine, est créée et elle constitue la première fédération de canicross et des sports dit « mono-chien » par opposition aux sports attelés avec plusieurs chiens. Elle est succédée ensuite en 2007 par la FSLC, Fédération des Sports et Loisirs Canins. Le canicross, le bike-joering, la trottinette et ski-joering y sont représentés. La FSLC n'est pas délégataire mais est en attente d'agrément du ministère des sports.

La SCC, Société Centrale Canine, possède aussi une commission, la CNEAC, Commission Nationale d'Education et d'Activité Cynophile, qui développe également une activité de canicross.

Au niveau européen, est créée en 2004 à Moutier en Suisse, l'ECF, European Canicross Fédération et elle est devenue l'ICF, International Canicross Fédération en 2016.

Au niveau mondial, l'IFSS, l'International Federation of Sleddog Sports, est une fédération internationale de sports de traîneau ouverte à toutes les races de chiens. L'ESDRA, l'European Sled Dog Racing Association s'y était rattachée mais vient récemment de s'en dissocier. On retrouve également, la WSA, World Sleddog Association, qui est la fédération internationale dite « fermée » qui accepte alors uniquement les races de chiens « typés nordiques ». C'est-à-dire qu'ils acceptent les chiens nordiques et apparentés non-inscrits au LOF. Puis la FISTC, International Federation of Dog Sledding Sports, est une fédération internationale de traîneau fermée qui n'accepte alors que les chiens appartenant aux 4 races de chiens nordiques. Les chiens doivent donc être inscrits au LOF (Livre des Origines Français) pour participer à leurs compétitions.

#### Niveau mondial



#### Niveau national



#### Niveau local

#### Les clubs

*Figure 5 : Organisation générale des fédérations de sports de traîneau et canicross*

### **3) Les courses et championnats : des courses locales jusqu'aux championnats**

#### **a) Les courses locales**

Chaque club affilié à la possibilité d'inscrire une course qu'il organise au calendrier de sa fédération uniquement, les règlements de course étant différents d'une fédération à l'autre. L'organisateur devra alors choisir des juges de courses indépendants des structures organisatrices préalablement formés par la fédération qui devront veiller au respect du règlement par les concurrents lors de la course. Ces courses ont lieu généralement sur des circuits de chemins et sentiers, pouvant varier en termes de dénivelé, et faisant en général entre 4 et 8 km.

Certaines courses de trail sans chiens, c'est-à-dire de la course à pied longues distances en milieu naturel sur des chemins de terre ou des sentiers de randonnée, acceptent d'organiser en parallèle un départ de canicross. Ainsi le canitrail se pratique sur des distances plus longues allant de 10 à 25 km.

Actuellement, en ce qui concerne la FSLC, chaque année une centaine de courses de canicross sont organisées en France. Plus de 3000 personnes y sont licenciées, réparties dans 130 clubs. Le nombre de licenciés et de clubs affiliés ne cessent d'augmenter au fil des années.

#### **b) Les championnats**

Les championnats nationaux et internationaux concernent plutôt des chemins de terre larges et très rapides, c'est-à-dire souvent avec moins de courbes ou de dénivelé permettant de courir à de plus grandes vitesses. Ils se déroulent sur deux jours, avec une course de sprint d'environ 2-4 km puis une course plus longue d'environ 6-8 km. Cependant selon le pays organisateur et la fédération, ces typologies de courses peuvent varier d'année en année.

Au niveau national, les différentes fédérations organisent leurs trophées nationaux qui rassemblent des concurrents licenciés dans les clubs affiliés. Cependant seule la FFST, délégataire, peut délivrer le titre de champion de France. Les modalités de sélection aux championnats sont propres à chaque fédération. Par exemple, à partir de cette année, pour répondre à la demande croissante d'inscriptions, la FSLC organise une sélection régionale en 8 courses afin de sélectionner de façon équitable les quelques 200 participants au trophée fédéral.

Au niveau européen, des championnats d'Europe sont organisés par l'ICF chaque année. Les championnats du monde sont, eux, organisés tous les deux ans par l'IFSS. Du côté des races nordiques, la WSA organise des championnats d'Europe et du monde.

Des trophées de courses sur 4 à 10 jours sont aussi organisés (trophée Jurachien, défi gapençais, Trophée Sud-Bourgogne, Trophée Des Montagnes etc.). Les concurrents enchaînent les courses jour après jour, et la performance réside dans leur gestion des courses et leur endurance sur l'ensemble du trophée. Ces trophées rassemblent, pour certains, plus de 250 participants dans la catégorie canicross adulte, les places étant limitées et très convoitées.

Il est important de noter que les courses de canicross, les trophées ou bien même les championnats, sont surtout une occasion pour les participants de se retrouver et de partager des moments sportifs et canins conviviaux, dans le respect des chiens, des concurrents et des organisateurs.

#### **4) Règlement du canicross et matériel**

Dans un souci épidémiologique et de santé publique, pour participer à une course de canicross qui constitue un rassemblement important de chiens, le chien doit être identifié et vacciné contre les maladies suivantes : la maladie de carré, l'hépatite de Rubarth, la parvovirose, la leptospirose, la rage et la toux de chenil. Il doit également être apte à réaliser une épreuve sportive et donc ne présenter aucune pathologie médicale ou orthopédique invalidante.

Dans le cas des courses FFST, FSLC, et CNEAC, toutes les races de chiens sont autorisées à participer à l'exception des chiens de première catégorie. Les chiens de première catégorie sont les chiens assimilables par leurs caractéristiques morphologiques, aux chiens de race American Staffordshire terrier (pit-bulls), mastiff (boerbulls) et tosa, et donc non inscrits au livre des origines françaises (LOF).

Les règlements des fédérations ont chacun leurs particularités mais le principe du canicross reste le même. Il s'agit de réaliser un effort de course commun au maître et à son chien reliés par une ligne de trait. Pour respecter ce principe, il est interdit de tirer son chien pour le faire avancer, mis à part pour le remettre dans le sens de la course. De plus, la ligne d'arrivée doit être franchie par le chien avant le coureur. Il n'est pas obligatoire que le chien tire son coureur mais une traction adaptée sera recherchée pour améliorer la performance du duo.

Le matériel est aussi très important pour que le coureur et son chien puissent profiter de l'effort sans se blesser. Le chien a donc un harnais de traction adapté à sa morphologie qui lui permet de fournir son effort le plus confortablement possible. Cependant, tous les harnais ne sont pas des harnais de traction, ainsi les harnais Norvégiens (type K9 de la marque Julius) sont proscrits pour le canicross. Des repères anatomiques existent pour guider un maître à choisir le bon harnais pour son chien. Le maître porte une ceinture ou un baudrier de canicross et est relié à son chien par une ligne de trait élastique qui n'excèdera pas 2 mètres à l'extension. Avant de s'inscrire à une course, le participant devra toutefois vérifier que son matériel est conforme au règlement de la fédération concernée.



*Figure 6 : Baudrier de traction, ligne de trait élastique et harnais adapté à un Berger Belge Malinois*

#### **5) Choisir son chien de canicross**

Tout d'abord, le chien doit correspondre à son coureur par sa puissance physique et par son caractère. Un chien trop puissant pourrait en effet être subi par son coureur qui risquerait de se blesser, et d'autre part, un coureur confirmé prendrait peut-être moins de plaisir à courir avec un chien qui ne serait pas capable de suivre son rythme de course. Il n'est pas obligatoire de courir avec son propre chien et il arrive que des chiens soient prêtés pour la découverte du sport. L'important étant de trouver le meilleur binôme pour fournir un effort commun et partager un moment de complicité.

Toutefois, dans la recherche de la performance, il est plus fréquent de voir certaines races monter sur les marches du podium. Il s'agit de chiens à la fois puissants et rapides, et qui ont une bonne motivation pour fournir ces types d'efforts. On peut ainsi trouver des chiens de chasse (Braque Allemand, pointer ...), des Greysters (race née du croisement de Lévrier Greyhound et de Braque Allemand), des chiens nordiques (Huskys de Sibérie, ou races issues de croisement de chiens nordiques, de chiens de chasses et de Lévrier : les Alaskan Huskys et les Eurohounds) mais aussi des chiens de bergers qui peuvent concurrencer les races précédentes grâce à leur écoute du maître : il s'agit des Bergers Belges malinois, Beaucerons, Borders Collies etc.

Les Alaskans, les Greysters et les Eurohounds sont des races de chiens sélectionnées spécifiquement pour les sports de traction mais elles ne sont pas reconnues par la FCI, la Fédération Cynologique Internationale, ni par la SCC, la Société Centrale Canine.

L'Alaskan Husky est issu d'une sélection sur des décennies de croisements entre Huskys, chien de chasse (Setter Irlandais, Braques, Pointer ...) et lévrier (Saluki, Barzoï ...). La sélection s'est faite sur des critères d'aptitude au travail au traîneau plus que sur des critères morphologiques, c'est pourquoi cette race comprend des chiens d'apparences variables. Les figures 7 et 8 montrent des Alaskan typés chiens de chasse et des Alaskan typés chiens nordiques. [9]

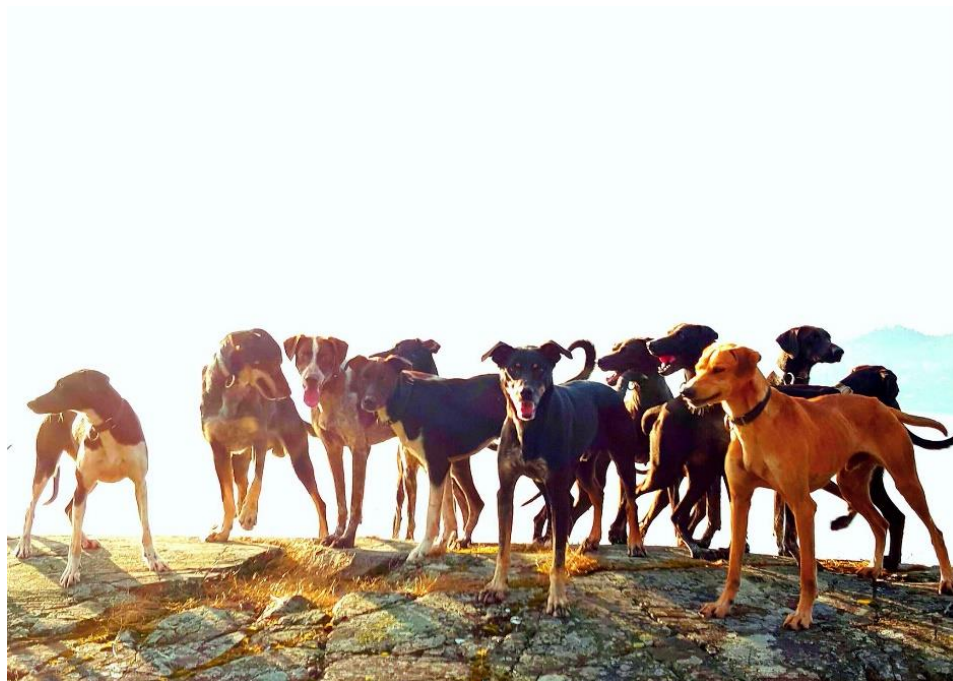


Figure 7 : Alaskans appartenant au musher Allemand Ullrich Kuhn, plus typés chiens de chasse.



Figure 8 : Alaskan husky, de l'élevage Alaskan du nord au Québec, chien de type nordique

L'Eurohound (Figure 9) est une race née dans les années 80 en Scandinavie qui résulte du croisement d'Alaskan Huskys et de Braques (Setter Anglais, Braques, Pointers etc.). Un peu après l'apparition des Eurohound (en 1988), sont apparus les premiers Greysters (Figure 10) : croisement de Braques Allemands et de Lévrier Greyhound, voire aussi parfois de Pointers et de Lévrier Hongrois. Les Eurohounds et les Greysters sont des chiens de traîneau plus spécifiques des courses de sprint ou de mi-distance par opposition aux Alaskan qui sont plus endurants. Chacune de ces races est également propice au canicross car ce sont des chiens de traction et même les plus endurants sauront apporter assez de vitesse à un coureur à pied.



Figure 9 : Eurohound



Figure 10 : Greysters

Chacune de ces races est maintenant établie et tend vers un standard de race. Cependant, comme la sélection se fait sur l'aptitude à la course, il est donc encore possible de trouver des chiens morphologiquement très différents selon les lignées. Pour évaluer le potentiel sportif d'un chien appartenant à ces races, il est conseillé de se référer aux pedigrees pour comprendre ses origines. Il est également possible d'effectuer des tests génétiques d'ascendances (Test d'ADN des ancêtres) afin de préciser les racines plus lointaines des chiens.



## **6) Les pathologies spécifiques du chien de canicross**

### **a) Lésions des coussinets**

Le chien en traction exerce une force importante sur ses coussinets et la première chose à vérifier avant et après une course ou un entraînement est leur intégrité. Une course longue ou sur un sol abrasif est susceptible de créer des lésions de la couche la plus superficielle du coussinet appelée la couche cornée. Des pierres tranchantes, morceaux de verre ou tout objet tranchant ou piquant peuvent aussi être à l'origine de plaies. Le coussinet est très vascularisé et saigne alors très facilement, il faut donc évaluer la plaie en la nettoyant et décider de la nécessité de suturer avant de réaliser un bandage, ou bien mettre une bottine protectrice. Pour éviter les plaies d'abrasion du coussinet, des baumes protecteurs et des solutions tannantes peuvent être utilisées dans certains cas, mais ils ne peuvent se substituer à un entraînement progressif du chien qui permettra au coussinet de se renforcer pour résister aux différents types de sol. Les organisateurs des courses veillent toutefois à emprunter des parcours les moins traumatisants possibles, notamment en évitant les portions de route bitumées.

### **b) Les épillets, chenilles processionnaires et les tiques**

Au cours d'une sortie, d'autres petits dangers sont présents : les épillets, les chenilles processionnaires et les tiques.

Les épillets sont des petits épis de graminées présents dans la nature qui peuvent pénétrer la peau ou les orifices naturels, et qui sont ensuite incapables d'en sortir. Ils peuvent alors migrer au sein des tissus et se loger pour former un abcès qu'il faudra faire débrider chez le vétérinaire.

Les chenilles processionnaires sont des chenilles munies de poils urticants qui se déplacent en procession pendant la période du printemps de mars à mai. Elles sont issues de nids dans les arbres comme les pins, sapins, cèdres, chênes, etc. Les poils urticants très volatiles contiennent une substance nécrosante, la thaumétopoéine, provoquant des plaies très douloureuses au niveau de la bouche, des yeux et sur le museau des chiens. Les poils s'incrusteront dans la peau ou la muqueuse et il ne faudra pas essayer de frotter pour les enlever afin d'éviter d'aggraver la libération de substance nécrosante. Il faut plutôt rincer les zones qui auront été en contact avec les poils de la chenille avec de l'eau ou une solution diluée de bicarbonate et consulter en urgence un vétérinaire qui administrera des anti-inflammatoires.

Les tiques sont des acariens parasites qui se fixent sur leur hôte pour se nourrir de sang et à cette occasion ils peuvent aussi transmettre des maladies vectorielles aux chiens telles que la piroplasmose ou la maladie de Lyme. Il est fortement recommandé de protéger les chiens contre les tiques avec des antiparasitaires avant d'envisager des sorties et de vérifier après chaque sortie l'absence de tiques. Il existe aussi en prophylaxie des vaccins contre les maladies transmises par les tiques (Piroplasmose, maladie de Lyme) à effectuer à distance des autres vaccins usuels. Ces vaccins confèrent une protection complémentaire aux antiparasitaires externes mais ne peuvent en aucun cas les remplacer.

### **c) Le SDTE, syndrome de dilatation-torsion de l'estomac**

Le SDTE est un retournement de l'estomac selon son grand axe qui provoque une ischémie et ensuite une nécrose de l'estomac. Les grands chiens au thorax profond y sont prédisposés mais il faudra considérer cette hypothèse chez tout chien présentant des efforts vomitifs non productifs accompagnés d'une dilatation de l'abdomen et de fortes douleurs. Le SDTE est une urgence absolue et il ne faut pas attendre avant de consulter un vétérinaire. Pour prévenir cette affection, le chien ne doit pas manger dans les 3 heures avant de courir et il est recommandé de donner la ration journalière en deux prises pour diminuer les quantités distribuées lors des repas.

### **d) Le coup de chaleur**

Le coup de chaleur est une autre pathologie gravissime. Il survient lorsque le chien fourni un effort important dans des conditions de températures et d'hygrométrie élevées par rapport à ce qu'il a l'habitude de supporter. C'est pour cela qu'un chien de traîneau habitué à des températures minimales pourra présenter un coup de chaleur à l'arrivée du printemps à des températures de 10-15°C, même si ces températures ne nous alarmeraient pas au départ. Il s'agit d'un état de choc qui se manifeste par une perte de lucidité et un chien qui va tituber et chercher de l'ombre ou des endroits frais pour se rafraichir. Les muqueuses deviennent cyanosées et la température rectale augmente jusqu'à 40-42°C. Le chien peut aller jusqu'à convulser ou perdre connaissance et sans intervention vétérinaire, le pronostic vital est engagé. Il faudra mettre en place des mesures de refroidissement comme par exemple appliquer des linges humidifiés à l'eau froide au passage des gros vaisseaux aux plis de l'aîne, sous l'ars etc. On peut aussi appliquer de l'alcool sur les coussinets mais il faut éviter d'immerger totalement le chien dans de l'eau très froide à cause du risque d'hydrocution. Le coup de chaleur est une urgence et le vétérinaire doit mettre le chien sous perfusion pour le réhydrater et administrer des corticoïdes rapidement et du mannitol lors d'œdème cérébral. En prévention, l'entraînement du chien doit être progressif et permettre son adaptation à fournir un effort dans certaines conditions de températures. Il faut également éviter de le faire courir aux heures les plus chaudes de la journée et prévoir des ravitaillements en eau sur le parcours pour permettre au chien de se rafraichir. Les règlements de course précisent des limites de températures au-delà desquelles une course ne pourra pas avoir lieu. L'organisateur a aussi la possibilité de raccourcir la distance de course lorsque les températures sont trop élevées. La figure 11 précise par exemple pour la FSLC les distances maximales d'une course dans les conditions de températures spécifiées pour chaque catégorie.

Températures	Canis Enfant 1	Canis Enfant 2	Canicross	CanisVTT
	Pupilles/Poussins	Benjamins/Minimes	à partir de cadets	
Jusqu'à 16°	1 km	2 km	7 à 9 km	7 à 9 km
De 17° à 20°	1 km	2 km	5 à 7 km maxi	5 à 7 km
De 21° à 25°	1 km	2 km	5 km maxi	5 km maxi

*Figure 11 : Distances et températures de course en fonction des catégories*

## e) Les affections musculaires

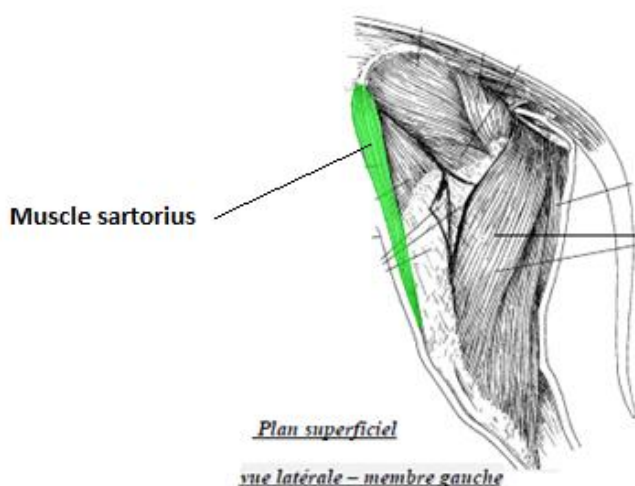
Le canicross est un effort de traction plutôt intense et les chiens peuvent développer des affections musculaires s'ils y sont mal préparés. Les facteurs de risque sont principalement un défaut ou un excès d'entraînement, un échauffement insuffisant avant l'effort, la déshydratation ou une nutrition inadaptée.

- **La courbature :**

L'affection musculaire la plus fréquente et bénigne est la courbature. Elle se manifeste par un raidissement lors du retour à l'état de repos des muscles après un effort plus intense ou différent de ce à quoi le chien est habitué. Il n'y a pas de lésion macroscopique du muscle à proprement parler, mais on observe un œdème interstitiel dû à la rupture de capillaires sanguins, la présence de métabolites comme l'ammoniac, l'acide lactique et des protons qui s'accumulent, et des lésions intramusculaires de la jonction actine-myosine. Une courbature se résout en 2 à 5 jours spontanément ou avec l'aide par exemple de la thermothérapie, des massages ou bien de l'électrostimulation. L'hydratation après l'effort est aussi très importante et des baumes anti-inflammatoires et décontracturants peuvent être appliqués sur les muscles douloureux. Cependant, certains composants de ces baumes sont susceptibles de rendre les chiens positifs aux contrôles anti-dopage et il est conseillé de vérifier leur composition avant toute utilisation.

- **La contracture :**

La contracture est une contraction musculaire prolongée même au repos où le muscle apparaît de volume augmenté, induré et douloureux pendant 5 à 10 jours. Le muscle sartorius (Figure 12) du chien est le plus touché par la contracture et les traitements sont similaires à ceux des courbatures mais on conseille l'arrêt de l'activité sportive, l'application de chaleur quotidienne et des étirements passifs jusqu'à résolution des symptômes.



*Figure 12 : muscle Sartorius [S. Sawaya, 2017] (Les légendes des autres muscles sont volontairement absentes du schéma)*

- **La crampe :**

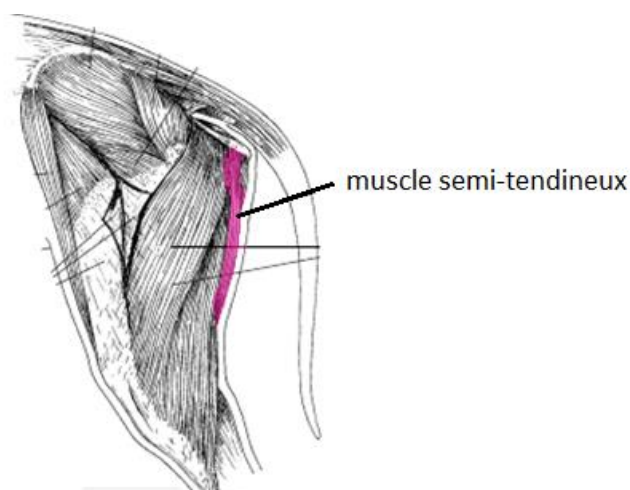
La crampe est une contraction involontaire, d'apparition brutale, très douloureuse et qui se résout rapidement par des étirements. A l'effort elle est due à la répétition trop intense ou trop longue d'un mouvement sportif avec un manque d'entraînement spécifique. Avec la

déshydratation et les pertes électrolytiques, un défaut de circulation au sein du muscle engendre localement un apport nutritionnel et une élimination des déchets métaboliques insuffisants, provoquant une acidose, et un déficit local en ATP qui empêche la relaxation musculaire. La prévention des crampes passe par un entraînement adapté et une bonne hydratation autour et pendant l'effort, supplémentée éventuellement par des électrolytes (sels de potassium, chlorure de sodium, magnésium etc.).

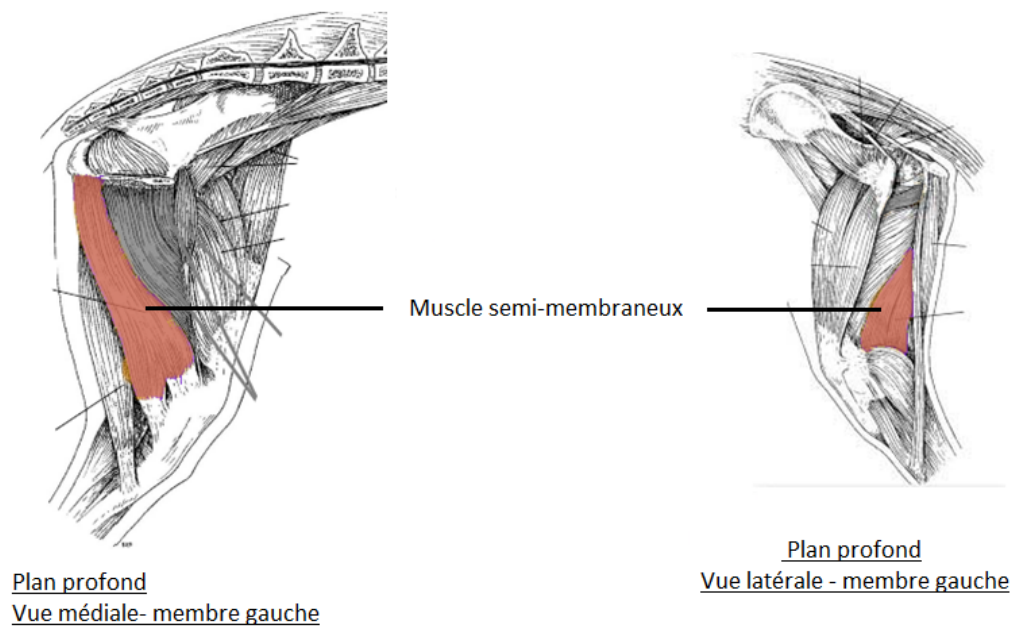
- **Les contusions, élongations, claquages et déchirures musculaires :**

Les accidents musculaires accompagnés de lésions anatomiques du muscle sont les contusions, élongations, claquages et déchirures musculaires. Elles peuvent être classées selon plusieurs classifications comme par exemple celle de Durey et Rodineau comprenant 5 stades (de 0 à 4).

Le **stade 0** est la contusion qui résulte d'un choc sur un muscle en contraction et qui provoque des lésions capillaires avec œdèmes et ecchymoses. Le **stade 1** débute avec l'élongation qui est un trop grand étirement du muscle créant ainsi des micro-déchirures de myofibrilles de quelques fibres musculaires. Les muscles du chien les plus touchés par l'élongation sont les muscles semi-tendineux et semi-membraneux représentés sur les figures 13 et 14. La douleur musculaire est diffuse et le temps de repos conseillé est de 10 à 15 jours.



*Figure 13 : Vue latérale du membre pelvien gauche : muscle semi- tendineux [S. Sawaya, 2017] (Les légendes des autres muscles sont volontairement absentes du schéma)*



*Figure 14 : Muscle semi-membraneux [S. Sawaya 2017] (Les légendes des autres muscles sont volontairement absentes du schéma)*

Le **stade 2** correspond au claquage, rupture brutale de quelques fibres musculaires, localisée et très douloureuse. Le muscle présente une zone de dépression qui forme par la suite un œdème. Le diagnostic est clinique et échographique et le traitement consiste à appliquer du froid et faire une compression afin de limiter l'œdème. La régénération musculaire est complète en quelques semaines.

Le **stade 3** est la déchirure musculaire qui est une grosse élongation avec rupture des myofibrilles perpendiculaires à leur axe de contraction. Elle peut aller jusqu'à l'atteinte de nombreuses fibres musculaires et du tissu conjonctif formant parfois un hématome intramusculaire. La cicatrisation se fait en à peu près 3 mois et elle sera toujours imparfaite. La lésion musculaire de plus haut stade, le **stade 4** est la rupture ou la désinsertion qui concerne toutes les fibres d'un muscle accompagnée d'un hématome important. [10] Le traitement consiste à appliquer de la glace et effectuer une compression pour limiter l'hématome et l'œdème. Il est possible de ponctionner l'hématome s'il est trop important. Les massages ne sont pas recommandés et selon les cas, il peut y avoir une indication chirurgicale à explorer. [11]

Dans le cadre des lésions musculaires, la thérapie laser permettrait de diminuer la douleur, de limiter l'inflammation et d'accélérer la cicatrisation. Une étude réalisée sur des rats a montré qu'une thérapie laser favorisait la régénération du muscle et réduisait la fibrose musculaire [12]. Cette thérapie peut donc être envisagée pour la récupération de traumatismes musculaires des chiens de sport.

Après la période de repos strict, il est important de débiter une rééducation avec de la physiothérapie (marche, proprioception, mouvements passifs et actifs, hydrothérapie etc.) et de reprendre une activité très progressivement.

## **f) Le dopage involontaire**

Le traitement des pathologies évoquées ci-dessus implique parfois des anti-inflammatoires non stéroïdiens, des corticoïdes ou des antibiotiques. Le canicross ne fait pas exception pour ce qui est des contrôles anti-dopage et une liste de molécules considérées comme dopantes existe et peut être consultée sur le site internet de chacune des fédérations des sports canins. Attention également aux traitements en phytothérapie, comme par exemple l'harpagophytum utilisé pour ses propriétés anti-inflammatoires qui pourra être détecté lors d'un contrôle anti-dopage. Pour participer à une course avec un chien qui a été traité, il faut vérifier pour chaque médicament de son traitement la période d'attente nécessaire à l'élimination de la molécule. La liste des substances interdites est longue et bien souvent aucun traitement n'est autorisé avant une course. De plus, il est conseillé de garder les ordonnances et tous les justificatifs d'un traitement (résultats de bilans sanguins, dosages hormonaux, radiographies etc.). Par exemple, un complément d'hormones thyroïdiennes sera autorisé si celui-ci est accompagné d'un document justificatif et de résultats d'analyses de contrôle de la T4. [13] [14] [15]

## II) LA PHYSIOLOGIE DE L'EFFORT

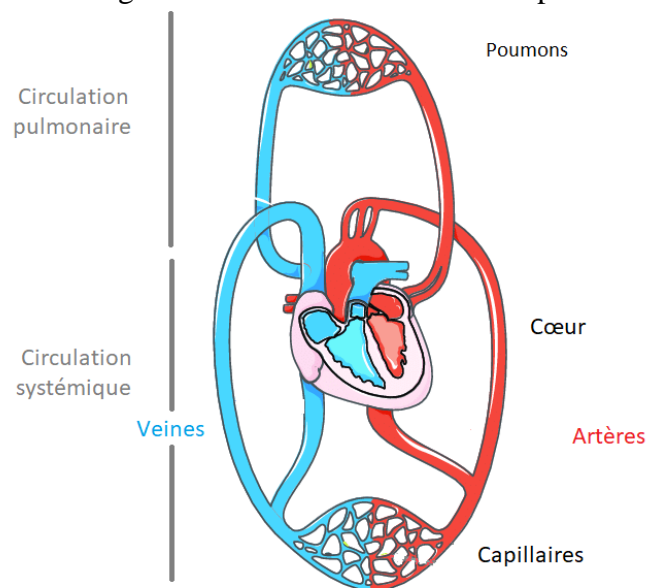
### 1) Le système cardiovasculaire et respiratoire au cours de l'effort

[16] [17]

L'activité des organes et des cellules de l'organisme est permise par un approvisionnement continu en nutriments et en dioxygène ainsi qu'un rejet de déchets métaboliques, de chaleur et de dioxyde de carbone. Les systèmes cardiovasculaire et respiratoire permettent le transport des gaz respiratoires depuis le milieu extérieur jusqu'aux cellules de l'organisme pour leur fonctionnement au repos comme à l'effort.

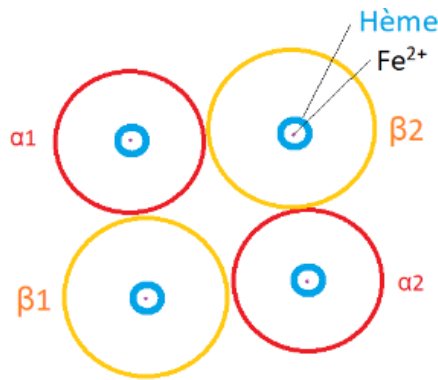
#### a) Le système cardiovasculaire : cœur, vaisseaux et sang

Le sang est composé d'un liquide appelé le plasma, dans lequel baignent des cellules que sont les érythrocytes, les leucocytes et les plaquettes, et les nutriments tels que le glucose ou les électrolytes. Il circule au sein d'un système clos composé de vaisseaux sanguins et grâce à un système de pompe généré par les contractions du cœur. Le cœur crée donc une pression suffisante pour expulser le sang dans les artères et jusqu'aux organes par de petits capillaires sanguins, puis le sang remonte par le système veineux jusqu'à retourner au cœur pour être ré-expulsé dans la circulation systémique. Les artères s'étendent en arborescence et en diminuant de diamètre jusqu'à devenir de nombreuses petites artérioles puis conduits microscopiques, les capillaires, qui entourent les organes et notamment les muscles pour les irriguer.



*Figure 15 : Circulation systémique et circulation pulmonaire*

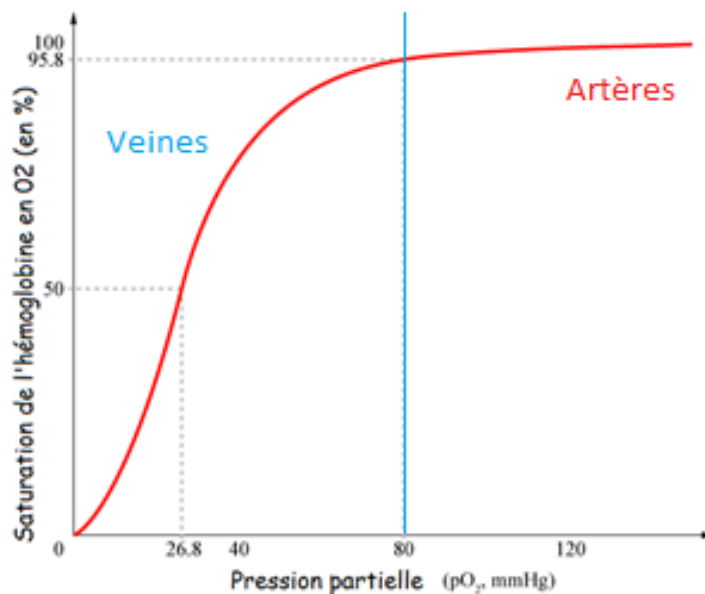
Le sang transporte l'oxygène en partie sous forme dissoute dans le plasma en faible quantité et les échanges de gaz sanguins tant au niveau pulmonaire qu'au niveau tissulaire se font sous cette forme par diffusion simple selon un gradient de concentration. Au sein du système cardiovasculaire, le transport de l'oxygène est assuré par l'hémoglobine des érythrocytes. L'hémoglobine est un tétramère en 2 parties ( $\alpha 1\beta 1$  et  $\alpha 2\beta 2$ ) composées chacune d'une chaîne polypeptidique  $\alpha$  et  $\beta$ . Chaque unité  $\alpha$  ou  $\beta$  comporte un hème avec un atome de fer  $Fe^{2+}$  capable de fixer une molécule d'oxygène. L'hémoglobine peut alors fixer 4 molécules d' $O_2$  à la fois.



*Figure 16 : Représentation schématique de l'hémoglobine*

[Illustration personnelle]

Selon la courbe de saturation de l'hémoglobine en fonction de la pression partielle, l'hémoglobine se sature en oxygène lorsque la pression partielle en oxygène est élevée, au niveau des artères pulmonaires par exemple, et elle libère l'oxygène lorsque la pression partielle diminue au niveau des capillaires sanguins des organes et de cette façon elle distribue l'oxygène aux cellules qui en ont besoin. Les érythrocytes sont des cellules spécialisées dans le transport des gaz sanguins grâce à leur richesse en hémoglobine, mais aussi par leur cytoplasme permettant le maintien d'un état réduit pour le fer hémique, et également grâce à leur conformation cytosquelettique qui leur confère un grand volume favorable aux échanges.



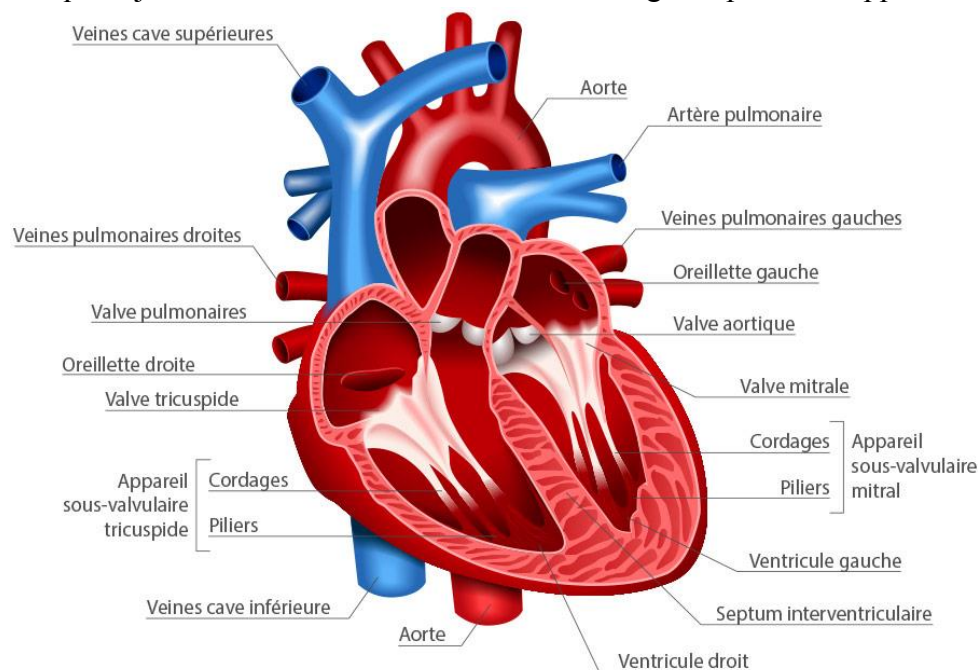
*Figure 17 : Courbe de saturation de l'hémoglobine en O<sub>2</sub> en fonction de la pression partielle en O<sub>2</sub>.* [Francis Canon, « Physiologie des systèmes intégrés, les principes et fonctions », site internet unisciel.fr]

Le CO<sub>2</sub> circule surtout sous forme dissoute puisqu'il a une forte solubilité en milieu aqueux, (sa solubilité est 30 fois supérieure à celle de l'O<sub>2</sub>), ou bien sous une forme liée aux protéines comme l'hémoglobine.

La pompe qui met le sang en circulation est le cœur, formé d'un héli-cœur gauche et d'un héli-cœur droit séparés hermétiquement par une paroi appelée le septum interventriculaire. Il est divisé au total en quatre cavités, deux oreillettes et deux ventricules. La circulation se fait à sens unique selon le gradient de pression et le sang du cœur gauche ne se mélange jamais avec le sang du cœur droit. En effet, le sang arrive dans le cœur droit par les



veines caves supérieure et inférieure dans l'oreillette puis passe la valve auriculo-ventriculaire tricuspide pour aller dans le ventricule, qui l'éjectera à son tour dans l'artère pulmonaire vers les poumons pour son oxygénation. Le sang oxygéné issu des poumons arrive dans le cœur gauche par les veines pulmonaires dans son oreillette puis passe la valve mitrale pour aller dans le ventricule qui l'éjectera à son tour dans l'aorte vers les organes pour leur apporter l'oxygène.



*Figure 18 : Schéma de la structure du cœur [Source : Santé sur le net. « Cardiologie : Généralités sur le cœur, Rythme cardiaque, Structure Anatomique »]*

Le débit cardiaque ( $Q_c$ ) est la quantité de sang éjectée dans l'aorte par unité de temps et il s'exprime selon la formule :

$$Q_c \text{ (mL/min)} = FC \text{ (bpm)} \times VES \text{ (mL/bt)}$$

où FC est la fréquence cardiaque en battements par minute (bpm) et VES est le volume d'éjection systolique en millilitre par battement (bt).

Le VES est le volume de sang éjecté par le cœur gauche à chaque contraction cardiaque.

Lors d'un effort physique, le débit cardiaque doit être augmenté pour obtenir une circulation sanguine capable de subvenir aux besoins des muscles. Si on considère  $VO_{2max}$  le volume d'oxygène maximal que l'organisme est capable de consommer par unité de temps : au début de l'exercice et jusqu'à 40 à 60 % de  $VO_{2max}$ , le débit cardiaque augmente par augmentation du volume d'éjection systolique jusqu'à un plateau. Puis le débit cardiaque augmente par augmentation de la fréquence cardiaque proportionnellement à la consommation d'oxygène jusqu'à  $VO_{2max}$ . On peut alors identifier chez les individus une valeur de  $VO_{2max}$  et de fréquence cardiaque maximale ( $FC_{max}$ ) qui leur sont propres. L'entraînement sportif a pour effet d'améliorer le débit cardiaque au cours de l'effort en optimisant le volume d'éjection systolique et d'augmenter la capacité d'amplitude de fréquence cardiaque entre la fréquence de repos et la fréquence maximale. L'objectif est d'adapter l'organisme à un effort physique en optimisant le débit cardiaque et l'apport de sang aux organes pour obtenir un meilleur rendement des muscles et une meilleure performance. A titre indicatif, la  $VO_{2max}$  d'un chien entraîné peut facilement monter au-delà de 130 mL  $O_2$ /min/kg et jusqu'à 220 mL  $O_2$ /min/kg alors que la  $VO_{2max}$  d'un homme est d'environ 85 mL  $O_2$ /min/kg au maximum. Le cheval,

autre espèce au métabolisme aérobie très efficace, a des valeurs de  $VO_2\text{max}$  qui peuvent atteindre 160 mL  $O_2$ /min/kg. [36]

A l'effort, le volume d'éjection systolique est aussi augmenté par l'augmentation du retour veineux, lui-même augmenté grâce à une vasoconstriction des veines, au pompage des muscles squelettiques qui se contractent, et grâce à la pression artérielle moyenne (aortique). Les mouvements respiratoires permettent également, par la pression thoracique et abdominale qu'ils engendrent, d'augmenter le volume d'éjection systolique.

La pression artérielle (PA) reste constante ou augmente légèrement selon l'intensité de l'effort. On note une chute transitoire légère de pression pendant les 20 premières secondes de l'exercice et une augmentation marquée de la pression systolique et de la pression moyenne lorsque la consommation d'oxygène est supérieure à 68 % de la  $VO_2\text{max}$ . [18]

Le volume d'éjection systolique lors de l'effort est aussi augmenté par l'action de la noradrénaline et de l'adrénaline ainsi que par le système sympathique du cœur qui augmentent la contractilité du myocarde. [Guyton, 1986]

Le flux sanguin du système vasculaire est également redistribué par rapport à celui au repos. Les vaisseaux se contractent ou se dilatent pour orienter le sang riche en oxygène vers les muscles en activité, c'est-à-dire les muscles squelettiques, le myocarde avec la dilatation des vaisseaux coronaires, le diaphragme qui participe activement à la respiration et la langue qui sera le lieu d'une régulation thermique importante. Les organes tels que ceux du système digestif, la peau, ou les reins seront moins irrigués le temps de l'effort.

De plus, chez le chien, la contraction splénique permet d'augmenter l'hématocrite et l'hémoglobémie et ainsi augmente la capacité du sang à transporter l'oxygène. [18]

Selon le principe de Fick, la quantité d'oxygène assimilée par les poumons est égale à celle captée par le sang dans un temps donné. La  $VO_2$  est la quantité d'oxygène absorbée par les poumons en une minute et donc la consommation d'oxygène de l'organisme. A l'aide de plusieurs paramètres il est possible de déterminer la  $VO_2\text{max}$ , c'est-à-dire la quantité maximale d'oxygène consommée et donc la quantité maximale d'oxygène captée par le sang pendant un effort maximal.  $QO_2$  est la quantité l'oxygène captée par le sang en une minute et s'exprime comme le produit de la différence entre les contenus artériels ( $Ca$ ) et veineux ( $Cv$ ) mêlés en oxygène et le débit cardiaque ( $Qc$ ) :  $QO_2 = (CaO_2 - CvO_2) \times Qc$ . Selon le principe de Fick  $VO_2 = QO_2$  donc  $VO_2 = (CaO_2 - CvO_2) \times Qc = (CaO_2 - CvO_2) \times VES \times FC$

Le VES est donc le produit du volume de fin de diastole (VFD) par la fraction d'éjection (FE).  $VO_2 = (CaO_2 - CvO_2) \times (CaO_2 - CvO_2) \times VFD \times FE \times FC$

Avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice, les muscles consomment de plus en plus d'oxygène qu'ils extraient du sang artériel, ce qui appauvrit le sang veineux en oxygène et donc la différence de contenu artérioveineux ( $CaO_2 - CvO_2$ ) en oxygène augmente.

## **b) Le système respiratoire**

La fonction du système respiratoire est d'assurer les échanges d'oxygène et de dioxygène entre l'organisme et l'environnement. L'air circule dans les poumons grâce au phénomène de ventilation et les échanges se font au travers de la barrière alvéolo-capillaire par diffusion selon les gradients de pression. La pression partielle en oxygène étant plus importante dans l'air des poumons que dans le sang, l'oxygène se déplace de l'air vers le sang. L'échange de CO<sub>2</sub> se fait en sens inverse selon le même principe, avec cependant une diffusibilité du CO<sub>2</sub> environ 24 fois supérieure à celle de l'O<sub>2</sub>. Le poumon du chien est fait de nombreuses ramifications bronchiques aboutissant à de petits sacs microscopiques appelés les alvéoles qui confèrent une grande surface d'échange.

L'inspiration de l'air est active par la contraction du diaphragme, muscle principal de la respiration innervé par le nerf phrénique. Le mouvement du diaphragme réduit la pression intrapleurale, qui est l'espace entre les deux membranes entourant le poumon, afin de permettre aux poumons de se dilater. Lors de l'effort, d'autres muscles participent à l'inspiration comme les muscles intercostaux et pectoraux. Lorsque l'organisme est au repos, l'expiration est passive et permise par l'élasticité pulmonaire. En revanche lors d'un effort et lors de l'hyperventilation, l'expiration devient active et met en jeu les muscles abdominaux ce qui a pour effet de repousser le diaphragme vers le thorax et augmenter la pression thoracique pour l'expulsion de l'air. La ventilation dépend également de la résistance des voies aériennes, c'est-à-dire essentiellement de leur diamètre. Par exemple, la ventilation sera limitée en cas de pathologie obstructive des voies aériennes qui induit une résistance à l'écoulement de l'air.

On définit les volumes et capacités pulmonaires suivantes :

- La **capacité vitale (CV)** est la quantité maximale de gaz mobilisée lors d'une expiration forcée après une inspiration maximale.
- Le **volume résiduel (VR)** est le volume de gaz restant dans les poumons après une expiration forcée.
- La **capacité pulmonaire totale (CPT)** est la quantité de gaz présente dans les poumons après une inspiration forcée :  $CV + VR$ .

Lors d'un exercice physique, les modifications respiratoires se traduisent par une augmentation rapide du débit ventilatoire au début de l'exercice qui se stabilise ensuite en un plateau. Ce plateau peut être ascendant suivant le travail imposé et les besoins de la thermolyse pour l'évacuation des calories en excès générées par la contraction musculaire. L'hyperventilation initiale est due essentiellement à une augmentation de la fréquence ventilatoire avec peu de modifications du volume courant. Ensuite, l'accroissement du débit ventilatoire dépend de l'intensité de l'exercice avec un volume courant qui augmente avec l'intensité du travail. [18]

Les capacités pulmonaires sont propres à chaque individu et varient très peu avec l'entraînement.

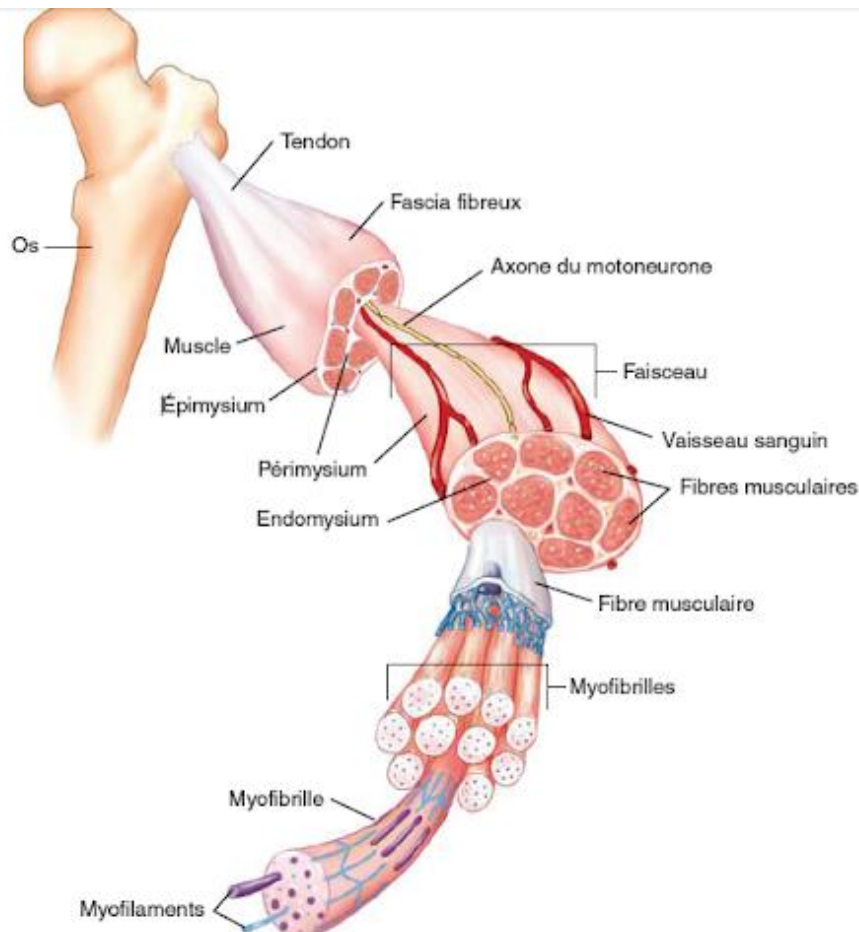
Le contrôle respiratoire lors de l'exercice est régulé par des récepteurs capables de détecter les changements de pression partielle en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> au niveau de certains fluides biologiques : on parle alors de chémorécepteurs. Il y a des chémorécepteurs au niveau du bulbe rachidien affectés par des modifications de la PCO<sub>2</sub> et de la concentration en protons H<sup>+</sup> du liquide céphalo-rachidien. D'autres chémorécepteurs périphériques se situent dans la crosse de l'aorte, au niveau de formation très richement vascularisées que sont les glomus ou les corpuscules aortiques. De même, dans l'artère carotide, on trouve les glomus ou corpuscules carotidiens

sensibles aux modifications de  $\text{PaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$  ou de concentration en protons  $\text{H}^+$ . Chez le chien, on trouve des récepteurs au  $\text{CO}_2$  dans les poumons au niveau des capillaires pulmonaires. Il a été mis en évidence que la concentration sanguine en potassium jouait aussi un rôle dans le déclenchement d'une hyperventilation [Dempsey et al., 1987]. Dans les muscles, les organes tendineux de Golgi détectent l'état de tension des muscles qui est transmis aux centres respiratoires pour augmenter le débit ventilatoire. Le ventricule droit aurait aussi des mécanorécepteurs sensibles à l'étirement du myocarde qui s'accroît lors de l'effort sous l'influence de l'augmentation du retour veineux. Ces récepteurs et neurones afférents vont acheminer des informations jusqu'au centre de contrôle respiratoire situé dans le bulbe rachidien du tronc cérébral. Ces informations concernent l'état d'hypoxie ou d'hypercapnie de l'organisme, le degré d'activation des systèmes cardio-respiratoire et musculaire, pour permettre d'ajuster la ventilation et d'assurer l'apport adéquat d'oxygène et le rejet du  $\text{CO}_2$ .

Lors d'un exercice maximal, la consommation maximale d'oxygène ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) est limitée principalement par le débit cardiaque et très peu par les capacités ventilatoires pulmonaires. En effet l'oxygène apporté par la ventilation est bien plus important que ce que l'organisme est capable de consommer [19]. Il est cependant possible d'entraîner les muscles respiratoires afin de retarder la fatigue musculaire respiratoire et d'économiser de l'énergie utilisable par les muscles locomoteurs.

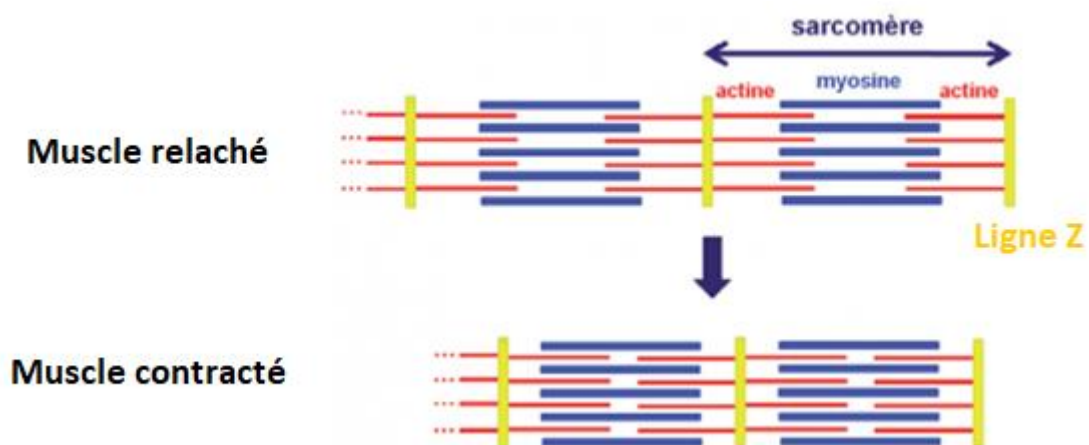
## **2) Le fonctionnement musculaire**

Les mouvements sont produits grâce à l'alternance des contractions-relaxations des muscles squelettiques qui mobilisent les segments osseux. Les muscles sont composés de cellules musculaires, de sang, et de tissus conjonctifs et nerveux. Un muscle est constitué de plusieurs faisceaux musculaires, eux même faits de plusieurs fibres musculaires, aussi appelées les myocytes. Les 4 tissus conjonctifs du muscle sont représentés sur la figure 19 : on distingue l'endomysium entourant les fibres musculaires, le péri-mysium entourant les faisceaux musculaires, l'épi-mysium qui englobe le muscle entier et enfin le fascia qui sépare les muscles les uns des autres.



*Figure 19 : Schéma de la structure du muscle squelettique* [« Le muscle : anatomie et types | Tout sur la sarcopénie ». URL : <http://www.toutsurlasarcopenie.fr/muscle/> Consulté le 31 mars 2020/]

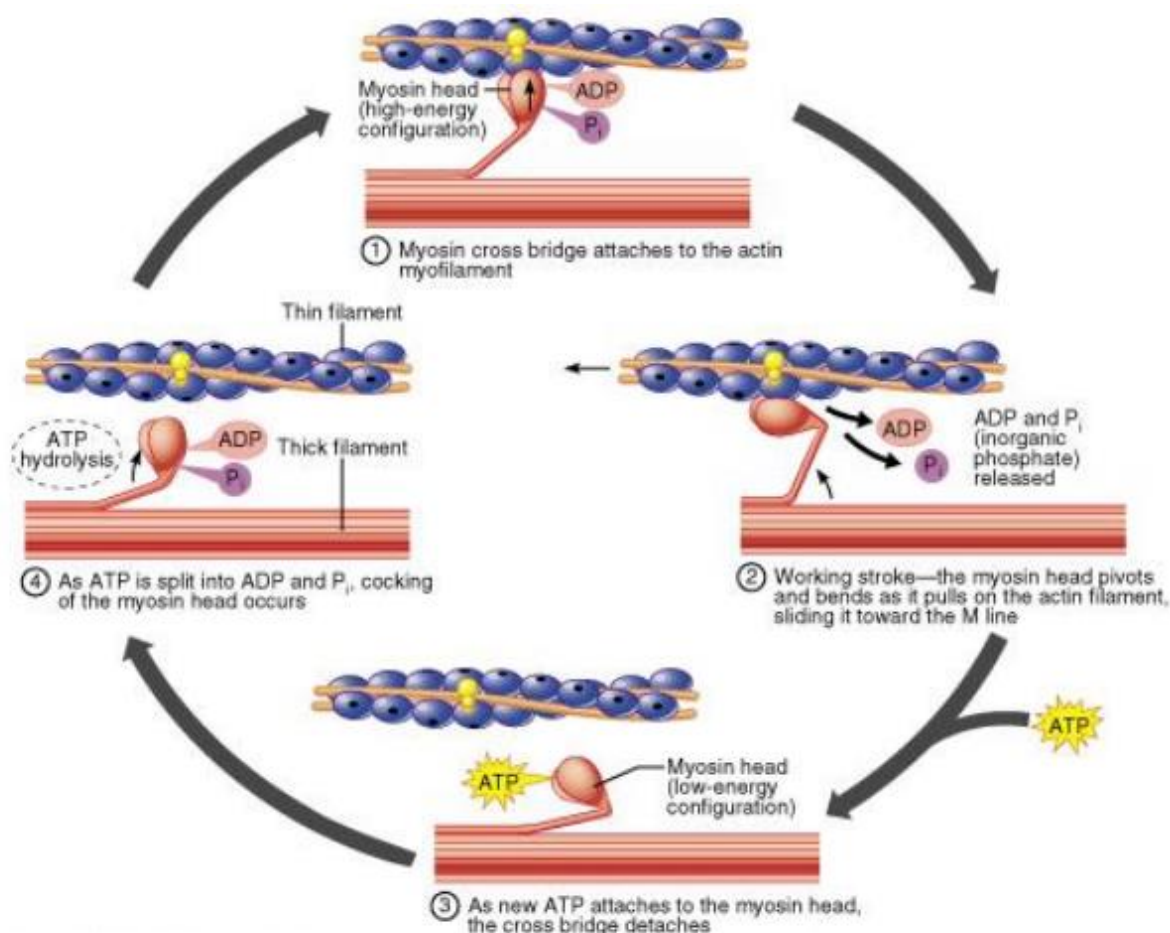
La cellule musculaire est plurinucléée et s'étend dans la longueur du muscle en un long cylindre d'apparence striée. Sa membrane est appelée le sarcolemme et son cytoplasme est le sarcoplasme. Elle contient de nombreuses myofibrilles constituées de filaments protéiques contractiles appelés les myofilaments. Il y a des filaments épais de myosine et des filaments fins d'actine disposés selon la figure 20 et qui confèrent cette apparence striée à la fibre musculaire. Les myofibrilles se divisent en unités individuelles appelées les sarcomères et elles sont séparées par la ligne conjonctive Z.



*Figure 20 : Schéma de myofilaments d'actine et de myosine en contraction et relâchés* [Illustration personnelle inspirée d'un schéma du site <https://basure853.wixsite.com/misitio/project-1>]

La contraction est le résultat d'un glissement entre les filaments d'actine et de myosine provoquant un raccourcissement des sarcomères. Les myosines comportent 2 chaînes lourdes et 4 chaînes légères qui forment à leur extrémité des têtes globulaires pouvant se fixer aux filaments d'actine. Le cycle mécano-chimique des têtes de myosine lors d'une contraction-relaxation représenté figure 21 se décompose en 5 étapes :

1. Pont d'actine-myosine en place.
2. Fixation d'ATP sur la tête de myosine suivi du détachement de la tête de myosine et rupture du pont actine-myosine.
3. Hydrolyse de l'ATP et modification de la conformation de la tête de myosine liée alors à l'ADP+Pi et qui fait un angle de 90° avec les filaments.
4. Etablissement du pont d'actine-myosine et libération de Pi, la tête étant toujours liée à l'ADP et faisant toujours un angle de 90°.
5. Pivot de la tête de myosine et glissement du filament de myosine sur celui d'actine et raccourcissement de la fibre musculaire. La tête perd son ADP.



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

Figure 21 : Le cycle mécano-chimique des têtes de myosine. [BOUALAM Houria et SAIDANI Sara, 2017]

Dans le sarcoplasme et entourant les myofilaments, le réticulum sarcoplasmique est un réseau de canaux membranaires contenant une réserve de calcium relarguée massivement pour la contraction musculaire. L'établissement des ponts d'union actine-myosine dépend de la concentration sarcoplasmique en calcium. Les ions calciums se fixent à la troponine liée à l'actine ce qui induit un changement de conformation de la tropomyosine libérant ainsi le site de fixation sur l'actine de la tête de myosine (Figure 22).

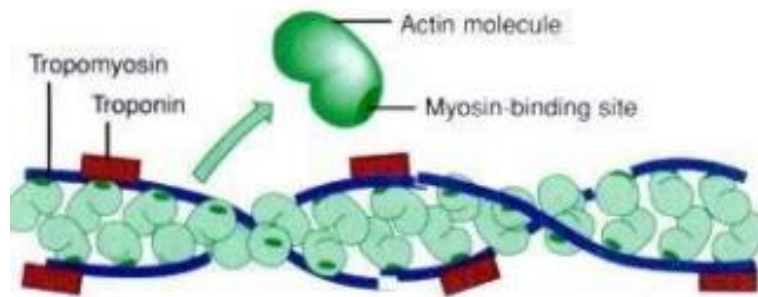


Figure 22 : Schéma des protéines de troponine et de tropomyosine sur une portion de filament d'actine. [Mienville, J-M. « PHYSIOLOGIE MUSCULAIRE », UNS, s. d., 14.]

Le calcium est le déclencheur de la contraction musculaire mais l'ATP et le magnésium sont indispensables à l'activité ATPasique des têtes de myosine.

La relaxation musculaire se fait par un retour à la concentration normale de calcium par fermeture des canaux calciques et pompage actif du réticulum sarcoplasmique.

L'information pour la contraction musculaire est acheminée *via* des motoneurons possédant leur corps cellulaire dans la substance grise de la moelle épinière et leurs axones dans les nerfs rachidiens. Les axones arrivent jusqu'aux muscles en plusieurs ramifications qui se terminent par des synapses chimiques appelées les **jonctions neuro-musculaires**. Elles permettent la transmission de l'influx nerveux et l'établissement d'un potentiel d'action musculaire, et ainsi la libération de calcium par le réticulum sarcoplasmique. Cet ensemble de ramifications axonales d'un même neurone et l'ensemble des fibres musculaires qu'elles innervent constituent une **unité motrice**.

La force musculaire augmente avec le nombre d'unités motrices activées et par une excitation accrue des unités motrices. La quantité d'ATP dans le muscle peut être un facteur limitant de la contraction musculaire mais son augmentation n'augmente pas la force musculaire.

Au cours d'un effort, il existe également une adaptation des facteurs de régulation avec des adaptations précoces d'origines nerveuses avec des phénomènes réflexes des fibres musculaires et des fibres de la barosensibilité qui captent l'augmentation de la pression artérielle. Puis, des adaptations secondaires hormonales ont lieu avec notamment la libération de catécholamines (noradrénaline, adrénaline, dopamine). Localement, lors de l'exercice, les fibres musculaires libèrent dans le milieu extra-cellulaire des métabolites qui ont une action vasodilatatrice (augmentation extra-cellulaire en  $K^+$ , en  $CO_2$  et métabolites acides). Une acidification, notamment lactique, déplace la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine vers la droite (c'est l'effet Bohr), et accroît la libération d'oxygène et sa diffusion vers les cellules. L'acide lactique est donc un déchet du métabolisme mais il participe également à améliorer l'oxygénation du muscle. [18]

On distingue 3 types de fibres musculaires : les fibres à contraction rapide, les fibres à contraction lente et les fibres intermédiaires :

- Les fibres à contraction rapide glycolytiques (type IIb) possèdent un faible nombre de mitochondries, un faible métabolisme aérobie et une faible résistance à la fatigue. Elles sont riches en glycogène et en enzymes glycolytiques qui leur confèrent une grande capacité de métabolisme anaérobie lactique. Elles contiennent beaucoup d'enzymes ATPases permettant une contraction plus forte. Ces fibres contiennent une quantité plus importante de myofibrilles et donc elles peuvent développer une force plus importante.

- Les fibres à contraction lente oxydatives (type I) possèdent une grande quantité de mitochondries, un métabolisme aérobie important et une faible fatigabilité. Ces fibres sont entourées de plus de capillaires sanguins et elles contiennent un pigment musculaire appelé la myoglobine qui est structurellement comparable à l'hémoglobine et qui a pour fonction de stocker l'oxygène.
- Les fibres intermédiaires (type IIa) possèdent des caractéristiques des fibres rapides glycolytiques et oxydatives. Elles permettent au muscle de s'adapter au type d'effort demandé.

Ce sont les innervations par les motoneurones qui déterminent la caractéristique de la fibre musculaire car si on intervertit expérimentalement le motoneurone d'une fibre rapide à celui d'une fibre lente, les deux fibres vont échanger leurs propriétés [Expérience d'innervation croisée, A. Buller et John Eccles, 1960]. Donc toutes les fibres innervées par le même motoneurone seront du même type. Les muscles posturaux sont majoritairement de type I alors que les muscles des mouvements sont riches en fibres IIb. Cependant la plupart des muscles sont mixtes et possèdent plusieurs types de fibres musculaires. Le pourcentage de ces fibres est déterminé génétiquement et prédispose les individus à une meilleure performance dans un type d'effort donné, en puissance ou en endurance. Il y a cependant des modifications possibles liées à l'entraînement. Il n'est pas possible par l'entraînement en endurance de transformer une fibre rapide en une fibre lente car leur innervation restera inchangée [Golnick, 1985 ; Hoppeler, 1986], mais on peut tout de même observer une certaine plasticité du muscle selon l'activité physique. En particulier, l'endurance favorise le passage de fibres intermédiaires de type IIa vers le type I, améliorant alors les capacités oxydatives du muscle. De même, un travail de force de type haltérophilie développe la masse et la force musculaire par épaissement de la fibre musculaire.

Dans les muscles, le glucose est stocké sous forme de glycogène qui est un polymère en  $\alpha_{1-4}$  de glucose et quelques ramifications en  $\alpha_{1-6}$ . Le glycogène permet de stocker de grandes quantités de glucose sous forme compacte sans augmenter le potentiel osmotique de la cellule, ce qui est utile pour sa mobilisation pendant un effort. La glycogénogénèse se réalise grâce à la glycogène synthétase sous l'action de l'insuline, et la glycogénolyse grâce à la glycogène phosphorylase sous l'action du glucagon et de l'adrénaline. [21]

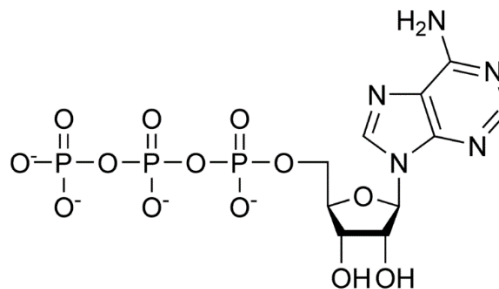
Le muscle contient également une réserve énergétique rapidement mobilisable sous la forme de phosphocréatine qui, lors de sa déphosphorylation, libère de l'ATP. Les mécanismes de mobilisation des réserves du muscle et de production d'énergie sont détaillés dans la partie suivante.



### 3) Les filières métaboliques énergétiques [21] [16]

Le métabolisme est défini comme l'ensemble des échanges physiques et chimiques qui permettent les transferts d'énergie au sein d'un organisme, que ce soit pour l'anabolisme ou le catabolisme. L'organisme puise de l'énergie à partir des nutriments qu'il absorbe par l'alimentation (glucides, lipides et protides) et qu'il va transformer en une énergie utilisable par les fibres musculaires.

L'ATP, adénosine triphosphate (Figure 23) est une « monnaie énergétique » car elle est un intermédiaire entre l'énergie des aliments et l'énergie nécessaire à la contraction musculaire. Elle est formée de l'adénine, d'un ribose et de 3 phosphates. Elle est produite par la combinaison d'ADP, adénosine di-phosphate et d'un phosphate inorganique Pi qui sont liés par une liaison de haute énergie : **ATP → ADP + Pi**



*Figure 23 : structure d'une molécule d'ATP*

Au tout début de l'effort, les réserves locales en ATP fournissent de l'énergie immédiatement pour la contraction musculaire.

Puis, la déphosphorylation de la phosphocréatine libère aussi rapidement de l'ATP au sein des cellules musculaires :



Mais si l'effort se poursuit au-delà de quelques secondes, l'organisme met en œuvre d'autres mécanismes de catabolisme et de resynthèse de l'ATP. Les transferts d'énergie se font par rupture de liaisons à haute énergie comme c'est le cas par exemple des réactions d'oxydation du glucose en pyruvate lors de la glycolyse.

Les réactions chimiques du métabolisme sont catalysées par les enzymes. Ce sont des protéines qui se lient à leur substrat au niveau du site actif et accélèrent les réactions par un phénomène appelé l'adaptation induite qui est une modification de conformation de la structure tertiaire. D'autres ligands peuvent se fixer à l'enzyme pour permettre la réaction tel que des cofacteurs ou coenzymes. Le magnésium, par exemple, est un cofacteur inorganique permettant le fonctionnement d'enzymes présentes dans les muscles.

Le premier nutriment à être utilisé pour la production d'énergie est le glucose (molécule à 6 carbones). Lors de la glycolyse, des enzymes contribuent à chaque réaction décrite sur la figure 24 afin d'aboutir à 2 pyruvates (3 carbones) et à la production de 2 molécules d'ATP. Le dinucléotide NAD<sup>+</sup> (nicotinamide adénine dinucléotide) est un coenzyme accepteur d'électrons qui se réduit en NADH lors de la glycolyse.

Le bilan total de la glycolyse est :



## DEGRADATION DU GLUCOSE OU GLYCOLYSE (voie d'Embden-Meyerhof)

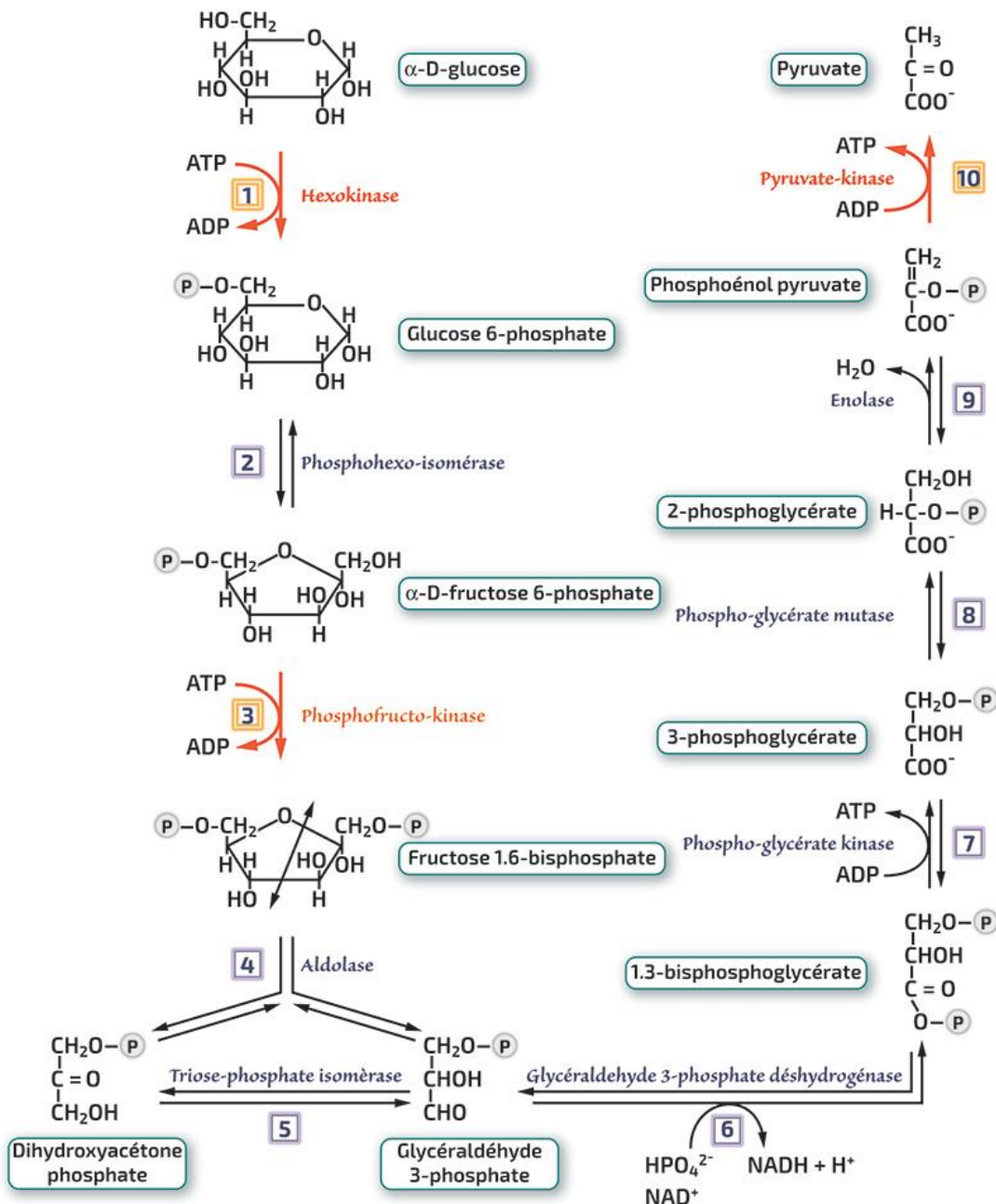


Figure 24 : La glycolyse [Le métabolisme - Glycolyse (4) | RN' Bio. URL : [https://rnbio.upmc.fr/Biochimie\\_metabolisme\\_glycolyse4](https://rnbio.upmc.fr/Biochimie_metabolisme_glycolyse4) (Consulté le 31 mars 2020)]

A cette étape, l'oxydation du pyruvate est incomplète. La glycolyse ne nécessite pas d'oxygène et en condition anaérobie, le pyruvate subit un processus de fermentation lactique produisant du lactate grâce à l'enzyme déshydrogénase selon la figure 25.

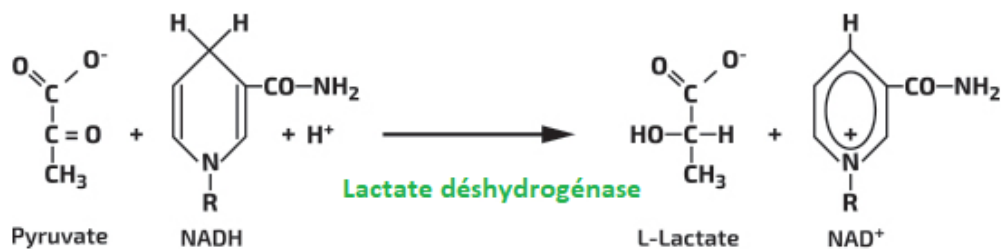


Figure 25 : Fermentation lactique du pyruvate.

En condition aérobie, le pyruvate entre dans les mitochondries des cellules par un symport pyruvate/H<sup>+</sup> de la membrane interne, puis il subit un processus respiratoire débutant par la production d'acétyl-Coenzyme A (acétyl CoA) et de CO<sub>2</sub> catalysée par le complexe pyruvate déshydrogénase selon la Figure 26. L'acétyl CoA est un métabolite pouvant entrer dans une autre chaîne de réactions d'oxydations appelé le cycle de Krebs qui sera détaillé ultérieurement.

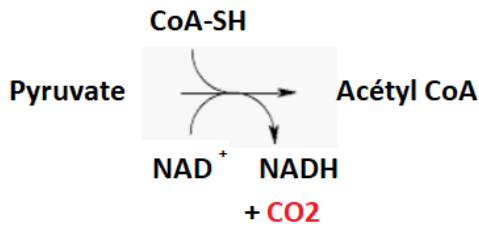


Figure 26 : Oxydation du pyruvate en Acétyl Coenzyme A

L'acétyl CoA est également formé par une voie d'oxydation des acides gras permettant à l'organisme de profiter d'une autre source d'énergie plus lente que celle du glucose. Les acides gras sont tout d'abord transformés dans le cytoplasme en acyl CoA qui leur permet d'entrer dans les mitochondries. Ainsi, l'acyl CoA entre dans une chaîne de réaction appelée l'hélice de Lypen représentée figure 27 aboutissant à la formation de l'acétyl CoA et de coenzymes réduites FADH<sub>2</sub> (flavine adénine dinucléotide) et NADH, H<sup>+</sup>.

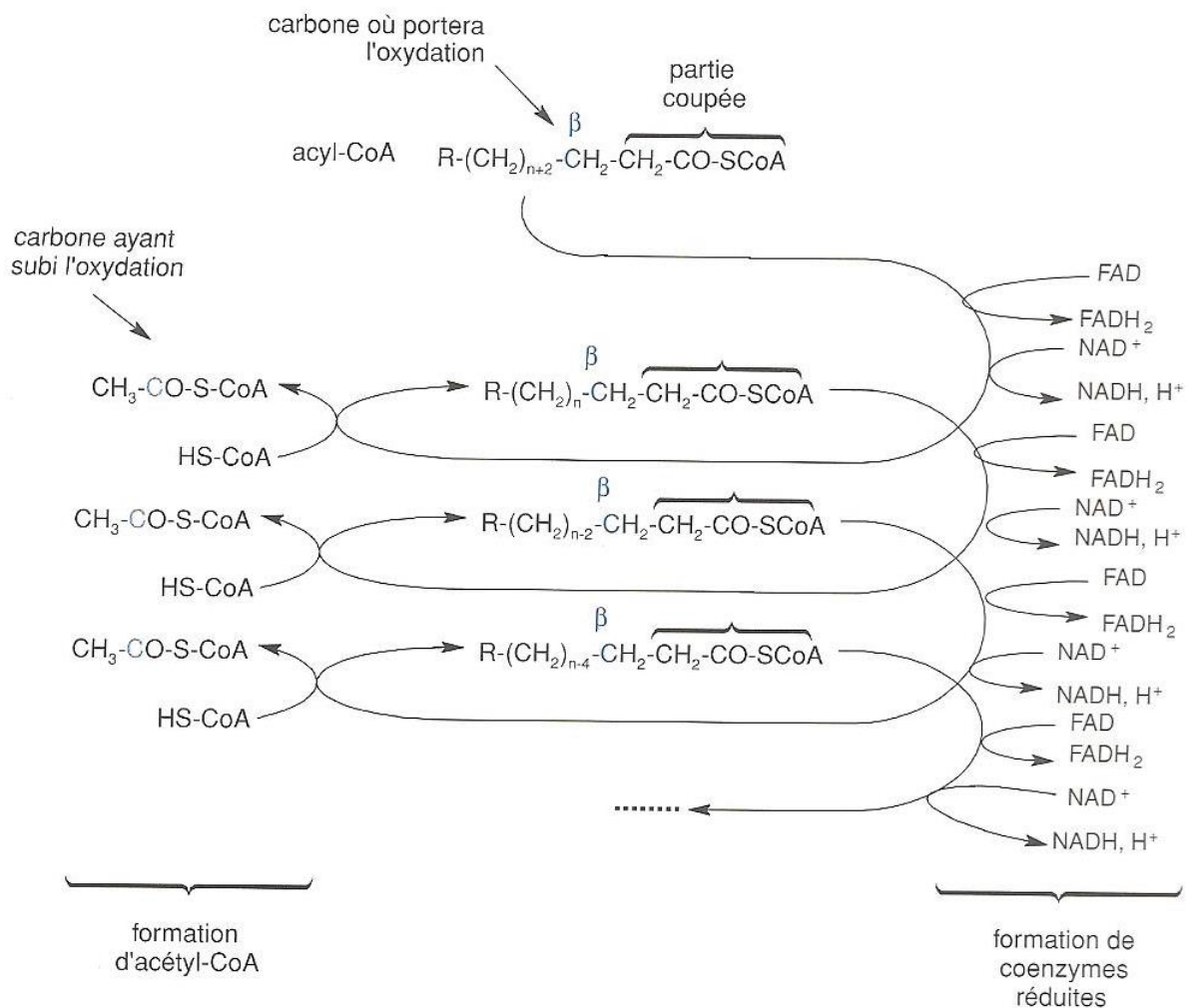


Figure 27 :  $\beta$ -oxydation des acides gras dans l'hélice de Lypen [21, p289]

L'Acétyl CoA ainsi formé peut intégrer le cycle de Krebs décrit sur la figure 28, constituant la voie terminale de l'oxydation des composés organiques. Il produit de l'énergie sous forme de coenzymes réduits  $\text{FADH}_2$ ,  $\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  (Remarque : un tour de cycle libère 3  $\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  et 1  $\text{FADH}_2$ ) et d'ATP et il libère du  $\text{CO}_2$  issu des carbones de l'acétyl.

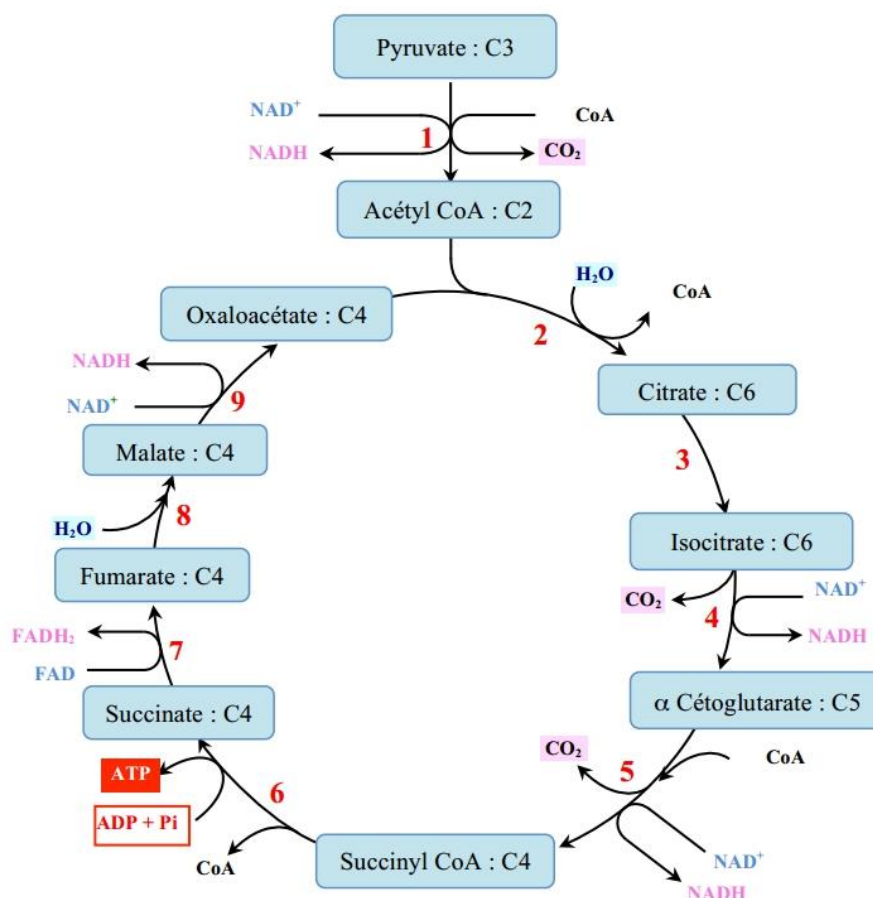
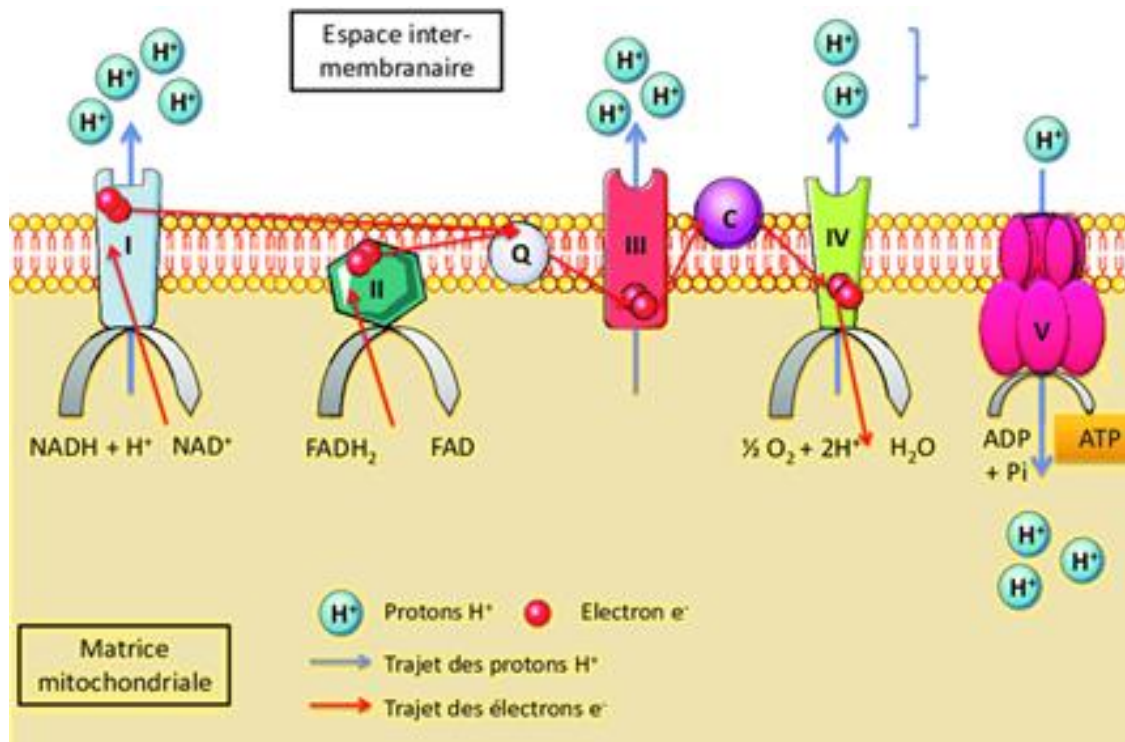


Figure 28 : Le cycle de Krebs [Cycle de Krebs | Votre espace STL. URL : <http://sites.crdp-aquitaine.fr/stl/lexique/cycle-de-krebs/> (Consulté le 31 mars 2020)]

Les coenzymes réduits sont les accepteurs des électrons de haute énergie des composés organiques (les glucides, lipides et protéides). Ils aboutissent au niveau de la chaîne respiratoire de la membrane interne mitochondriale qui est le lieu de l'utilisation de l'oxygène. Cette chaîne respiratoire est composée de 5 complexes protéiques représentés sur la figure 29, où les électrons sont transférés d'un transporteur à l'autre selon les potentiels d'oxydoréduction croissants. Le  $\text{NADH}$  et  $\text{FADH}_2$  sont oxydés et au niveau du complexe IV le dioxygène est réduit en eau. Une translocation des protons  $\text{H}^+$  s'opère vers l'espace intermembranaire grâce à l'énergie libérée par les oxydoréductions des complexes. Ainsi un gradient de proton se met en place de part et d'autre de la membrane interne des mitochondries et est mis à contribution au niveau du complexe V. Ce complexe est l'ATP synthase, formé de plus d'une dizaine de protéines différentes fonctionnant par un système de rotation de certaines de ses parties. La rotation transforme l'ADP+Pi en ATP et permet en même temps le passage de protons  $\text{H}^+$  dans la mitochondrie.



*Figure 29 : Chaîne respiratoire mitochondriale.* [Schéma représentant la chaîne respiratoire mitochondriale. Au niveau du... | Download Scientific Diagram. URL : [https://www.researchgate.net/figure/Schema-representant-la-chaîne-respiratoire-mitochondriale-Au-niveau-du-complexe-I-le\\_fig6\\_325331971](https://www.researchgate.net/figure/Schema-representant-la-chaîne-respiratoire-mitochondriale-Au-niveau-du-complexe-I-le_fig6_325331971) (Consulté le 31 mars 2020)]

Au bilan de cette chaîne respiratoire, lorsqu'un NADH est oxydé, 3 ATP sont synthétisés. Finalement, le rendement du catabolisme oxydatif est très élevé et permet la production de beaucoup de molécules d'ATP pour le fonctionnement musculaire.

En pratique, les mécanismes énergétiques évoqués précédemment s'enchainent suivant l'intensité de l'exercice : (Figure 30)

- Immédiatement au début de l'exercice, les cellules musculaires reconstituent l'ATP par déphosphorylation de la phosphocréatine.
- Lors d'un exercice très bref, ce sont les mécanismes anaérobies, les fermentations et la glycolyse, qui fournissent rapidement l'énergie au muscle. Ils créent une puissance élevée pendant une courte durée.
- Au fur et à mesure que l'exercice se prolonge, diminuant d'intensité, le métabolisme aérobie prend le relai en utilisant pour substrat les glucides et les lipides.

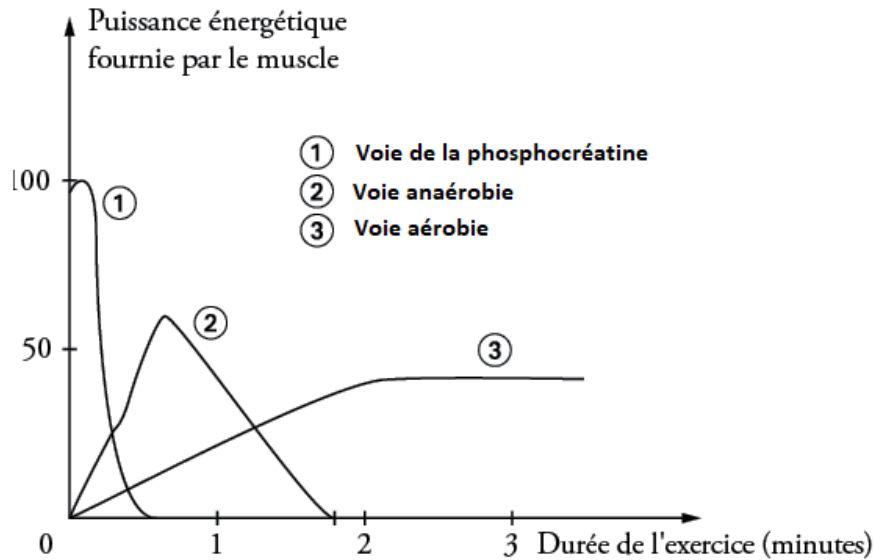


Figure 30 : Voie métabolique en fonction de la puissance mécanique du muscle et de la durée de l'exercice.

[Illustration personnelle inspirée d'une figure de <https://www.annabac.com/annaes-bac/metabolisme-energetique-des-cellules-musculaires>]

Un effort d'intensité moyenne repose sur un métabolisme aérobie et peut durer plusieurs minutes ou plusieurs heures. Par contre, lorsque l'effort augmente d'intensité au-delà de  $VO_2max$ , l'organisme passe à un mécanisme anaérobie et l'effort ne pourra plus être maintenu que quelques minutes ou secondes. [18]

Chez l'homme, le « cross over concept » indique qu'en-dessous de la vitesse de début d'accumulation lactique, le sportif va utiliser les glucides et les lipides. Et au-dessus de cette intensité, correspondant à 60-90 % de  $VO_2max$ , l'ATP sera resynthétisé par les glucides en priorité (Figure 31).

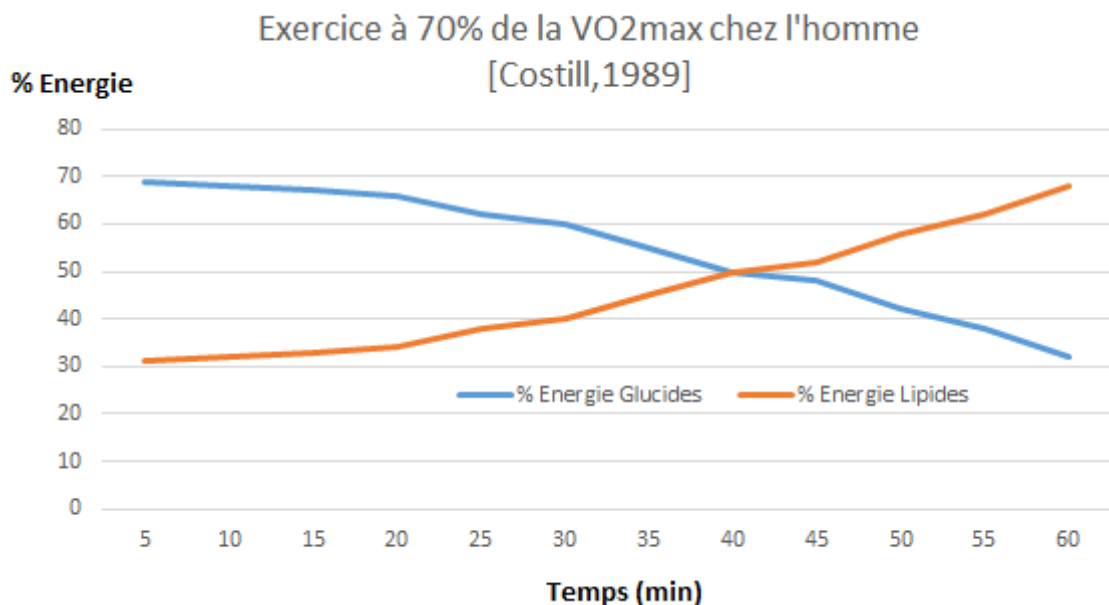


Figure 31 : Répartition des sources d'énergie lors d'un exercice à 70 % de la  $VO_2max$  chez l'homme

[Illustration personnelle d'après Costill, 1989]

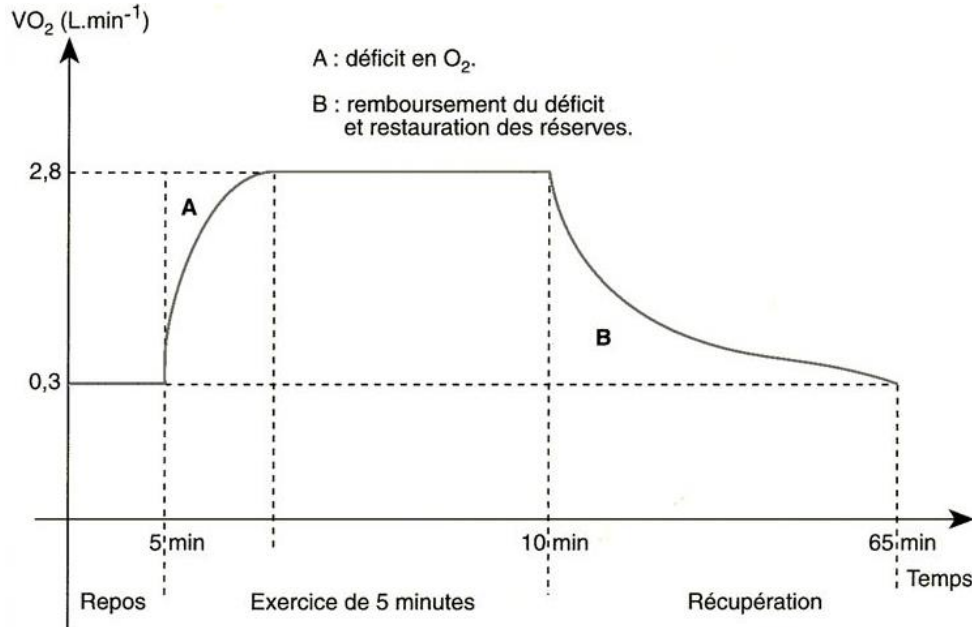
Le chien, comparé à l'homme, est plus adapté aux courses de longue distance et est capable de produire deux fois plus d'énergie par l'oxydation des lipides [McLelland et al. 1994; de Bruijne, Altszuler et al. 1981; de Bruijne and de Koster 1983]. Au repos, il tire son énergie autant de l'oxydation des lipides que de celle des glucides. Cependant, lorsqu'un chien entraîné commence à fournir un effort de faible intensité, l'oxydation des lipides augmente de façon plus importante que l'augmentation de l'oxydation du glucose et la source d'énergie principale devient celle des lipides. Puis, lorsque l'intensité de l'effort augmente, les réserves d'oxygène s'épuisent peu à peu et de l'acide lactique est produit, ce qui limite l'utilisation des lipides. Ainsi, des chiens entraînés qui fournissent un effort en dessous d'un certain pourcentage (environ 70%) de  $VO_2max$ , vont utiliser majoritairement la filière métabolique énergétique lipidique, alors que les chiens qui courent à une vitesse au-dessus de ce seuil de  $VO_2max$ , vont utiliser majoritairement les filières métaboliques aérobies et anaérobies d'oxydation du glucose. Le changement de filière énergétique se réalise alors au niveau d'un seuil de  $VO_2max$  propre à chaque chien, en dessous duquel l'exercice peut être qualifié de **submaximal** et au-dessus duquel on le qualifiera de **supramaximal**. [38]

Une étude, menée avec des Alaskans sur des efforts d'endurance, a démontré que contrairement à l'hypothèse de départ, c'est-à-dire que les lipides étaient la source d'énergie principale lors d'une course d'endurance, les chiens dépendent autant des glucides que des lipides. Les races de chiens de traîneau nouvellement apparues plus performantes et plus rapides, sont bien capables d'optimiser leur effort par l'utilisation des glucides conjointement à celle des lipides. [22]

Cependant, les lipides restent une source principale d'énergie lors d'un effort chez le chien et l'apport d'un supplément de lipides dans la ration des chiens avant et pendant une période de compétition contribue à augmenter leurs performances par une reconstitution des réserves énergétiques plus rapide. [23]

#### 4) La dette en dioxygène

Lors de l'exercice physique, nous avons vu que le débit ventilatoire augmentait tout d'abord avec l'augmentation de la fréquence respiratoire et plus progressivement avec l'augmentation du volume courant. Lorsque l'effort est intense et que l'adaptation ventilatoire et cardiocirculatoire prend du temps à se mettre en place, la consommation en oxygène dépasse celle apportée par la ventilation et une « dette en dioxygène » apparaît.



*Figure 32 : Représentation de la dette en oxygène chez l'homme.* [Emmanuel Bernier, 2014]

La consommation d'oxygène adaptée à un exercice ne s'établit pas spontanément car il faut le temps d'augmenter le débit cardiaque, de modifier la répartition de la masse sanguine corporelle vers les muscles, d'augmenter la température corporelle et d'activer les réactions d'oxydation de la fibre musculaire. Ce temps de latence pendant lequel la dette en oxygène apparaît est raccourci chez un sujet entraîné et également chez un sujet qui a pris le temps de faire un échauffement avant l'effort. En effet, l'échauffement permet de laisser le temps à l'organisme de se préparer à l'effort qu'il devra subir et de diminuer la dette en oxygène du début de l'effort intense. [24]

La récupération d'un effort intense et court tel qu'une course de canicross, et qui met en jeu le métabolisme anaérobie ou aéro-anaérobie, commence immédiatement après l'effort par le remboursement de la dette en oxygène. La situation initiale est retrouvée en environ 30 minutes. [18]

L'EPOC (Excess Post-exercice Oxygen Consumption) est l'augmentation de la consommation en oxygène après l'effort destinée à rembourser la dette en oxygène. Il comprend aussi la consommation en oxygène destinée à éliminer l'acide lactique des muscles.

L'EPOC augmente proportionnellement avec l'intensité de l'exercice et il est également plus important pour des sujets non entraînés. En effet, en observant la figure 32, plus l'adaptation ventilatoire se fera rapidement au début de l'effort, moins la durée de l'EPOC aura besoin d'être grande. [25]



## **5) La température et la polypnée thermique [26] [27]**

La première loi de la thermodynamique, de la conservation de l'énergie, stipule que lors de toute transformation, il y a conservation de l'énergie. La seconde loi de la thermodynamique annonce que lors des transformations d'énergie, il y a augmentation du désordre appelé entropie [16]. Dans le cas du fonctionnement musculaire, l'énergie des nutriments se transforme en énergie mécanique qui libère également du CO<sub>2</sub> et de l'énergie calorifique, la chaleur. La chaleur est une forme d'énergie à entropie élevée, ce qui respecte les deux principes de la thermodynamique cités ci-dessus.

La chaleur est bénéfique pour le fonctionnement enzymatique et musculaire. Cependant lorsqu'elle est produite en quantité excessive, elle devient néfaste et perturbe le fonctionnement enzymatique ainsi que la saturation en oxygène de l'hémoglobine et elle peut aller jusqu'à dénaturer les protéines. Une augmentation même mineure de la température au niveau du cerveau perturbe le métabolisme cellulaire neuronal et donc le fonctionnement cérébral [39]. Il existe des thermorécepteurs périphériques cutanés et des thermorécepteurs profonds, dans l'hypothalamus, qui captent les écarts de température corporelle par rapport à la valeur normale de référence. L'organisme met alors en place des mécanismes de régulation thermique d'élimination de la chaleur afin de maintenir la température centrale dans des limites acceptables. Le chien thermorégule faiblement par la peau contrairement à l'homme ou le cheval, cependant il libère de la chaleur par ses coussinets et par halètement principalement. Le halètement permet une évaporation d'eau salivaire et pulmonaire et libère une grande quantité de chaleur. Un chien expire entre 4 et 6 litres d'air par minute au repos pour monter à plus de 150 litres à l'effort.

Les voies respiratoires supérieures du chien, la gueule, les cornets nasaux et la langue constituent une grande surface d'échange pour l'évaporation de l'eau. L'évaporation est une réaction endothermique, c'est-à-dire qu'elle demande de l'énergie calorifique (chaleur) provenant de l'environnement ambiant pour contribuer au refroidissement de l'organisme : c'est un processus de déperdition calorifique efficace. Il faut compter environ 580 calories pour évaporer 1 g d'eau à 25°C. De plus, plus l'air extérieur est chargé en vapeur d'eau par temps humide, plus l'évaporation de l'eau par le chien est difficile et moins le halètement est efficace [BRUCHIM et al., 2006][40]. Par ailleurs l'air pulmonaire chargé en eau diminue les échanges gazeux et donc limite aussi la VO<sub>2</sub>max. Pour répondre à la demande plus importante de sang au niveau des muscles respiratoires et des surfaces d'échanges thermiques (cornets nasaux, bouche, langue) pour la thermorégulation, le chien augmente d'autant plus son débit cardiaque en ambiance chaude. [41] Il semble alors judicieux d'éviter les entraînements en conditions d'hygrométrie élevée et températures chaudes qui rendent l'exercice très difficile.

De plus, ces mécanismes de thermorégulation sont en lien avec le système endocrinien de régulation hydrique et sodique. Lors d'un stress calorifique, l'hypophyse sécrète l'hormone antidiurétique (ADH) qui stimule la réabsorption d'eau par le rein et le cortex surrénal libère de l'aldostérone pour la réabsorption rénale de sodium.

Il existe une acclimatation à la chaleur par un entraînement en ambiance chaude dans les limites raisonnables et ne limitant pas trop l'activité physique. C'est une adaptation lente en 20 à 60 jours par une augmentation de la performance cardio-vasculaire, une activation du système rénine angiotensine, une rétention de sel, et une optimisation de la polypnée thermique.

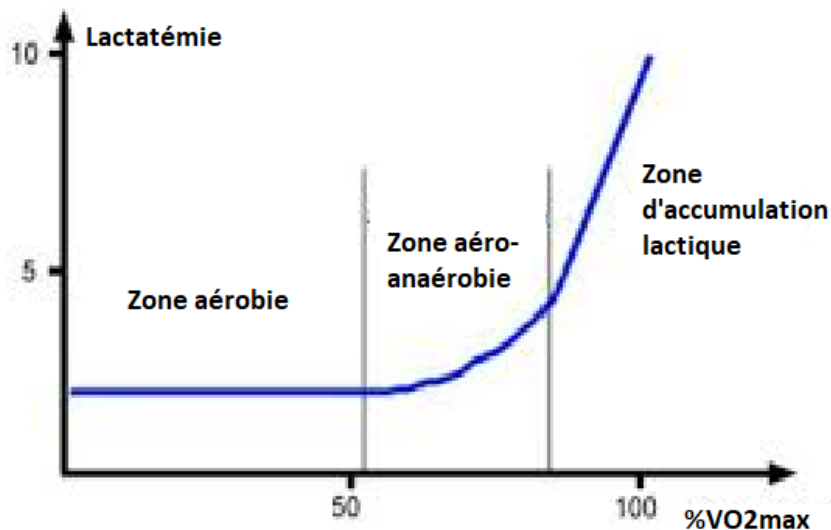
Les échanges thermiques peuvent aussi se faire dans une moindre mesure par perspiration cutanée. Il ne s'agit pas d'une sudation mais plus d'une émission lente sous forme

gazeuse qui se fait au travers d'une composante cutanée appelée corps muqueux de Malpighi et de la couche cornée de la peau. Ainsi les échanges thermiques peuvent être limités par une fourrure trop importante, comme chez les Huskys, ou par un surpoids car la graisse cutanée forme une barrière thermique. Ce phénomène dépend beaucoup de facteurs de race et de facteurs génétiques individuels, ce qui explique que la réaction à la chaleur puisse être différente d'un chien à un autre. Le stress thermique chez le chien induit une vasodilatation cutanée qui favorise l'évacuation de la chaleur par la peau. Une partie du débit cardiaque normalement utilisée pour les muscles sera donc mobilisée limitant ainsi la performance.

Les races brachycéphales sont à surveiller lors de conditions de températures élevées car ils sont très sensibles au stress thermique. La sténose de leurs narines et l'allongement du voile du palais rendent la polypnée thermique moins efficace. Il convient également de faire attention à la survenue d'un œdème laryngé chez ses chiens au cours d'un stress thermique.

## **6) Problématique de détermination d'un seuil aérobie-anaérobie chez le chien à l'effort**

Chez l'homme, on détermine la notion de seuil lactique, c'est-à-dire la fraction de  $VO_2max$  à partir de laquelle un sportif commence à accumuler de l'acide lactique. En effet, lors d'un effort à intensité moyenne, le métabolisme aérobie fournit l'énergie mais quand on augmente encore l'intensité de l'exercice, les besoins musculaires dépassent les capacités respiratoires et de phosphorylation oxydative et le métabolisme devient en partie anaérobie par production d'acide lactique. L'accumulation de l'acide lactique fait apparaître une fatigue musculaire qui limite l'exercice. La mesure de la lactatémie permet d'évaluer en temps réel le seuil lactique.



*Figure 33 : Courbe théorique de la lactatémie par rapport au pourcentage de  $VO_2max$ .*

[Illustration personnelle d'après Nicolas Coulmy, Laurent Schmitt, Marie Philippe Rousseaux Blanchi, Samuel Vergès. « Lactates : mode d'emploi ». Edité par le Département Sportif et Scientifique de la F.F.S. 2002]

La performance d'un coureur est liée à sa capacité de retarder l'apparition de ce seuil lactique et de maintenir un effort supramaximal sans accumuler de lactate.

Chez le chien, il est difficile d'établir une courbe de lactatémie à l'effort et déterminer le seuil lactique et il est également très difficile de quantifier leur consommation en oxygène

durant l'effort. En effet, la pose d'un masque perturberait la polypnée thermique et donc la thermorégulation du chien. Chez le cheval, pour lequel un masque respiratoire est beaucoup plus facilement adaptable, un protocole d'estimation du seuil lactique individuel de chevaux de course d'endurance a été approuvé à travers une étude. Ce protocole nécessite de faire courir les chevaux sur 500m en sprint au galop, puis 1000m à 15km/h et mesurer la lactatémie après chaque course [28]. Chez le chien, il n'existe pas de test standardisé de détermination de la  $VO_2\text{max}$  mais cela pourrait être intéressant à mettre en place pour des sports mono-chiens rapides et pour le suivi du chien à l'entraînement.

## **7) Adaptation à l'effort**

L'organisme lors d'un effort physique s'adapte afin d'augmenter l'intensité de son activité, ce sont des modifications immédiates à l'effort. Cependant, dans cette partie, il est question d'une adaptation à plus long terme avec un exercice physique spécifique répété dans le temps. Les entraînements spécifiques d'un exercice donné permettent à l'organisme d'améliorer ses capacités et dans le cas de la course, il vise à améliorer la  $VO_2\text{max}$  qui est la limite supérieure de la capacité de métabolisme aérobie par le chien. Ce sont majoritairement les systèmes cardio-vasculaire et musculaire qui subissent des adaptations physiologiques à l'entraînement.

Au niveau cardio-vasculaire, le cœur subit une adaptation qui lui permet d'améliorer son remplissage et son rôle de pompe. En effet, on constate une augmentation de l'épaisseur de sa paroi et une augmentation de la taille de la cavité du ventricule gauche après une période d'entraînement de 4-5 semaines. La contractilité du myocarde se trouve également améliorée. Ainsi, le cœur est plus apte à fournir un effort à une fréquence cardiaque plus faible, c'est-à-dire qu'il peut augmenter la durée de la phase de remplissage ventriculaire et donc le volume télédiastolique et la force d'éjection systolique selon la Loi de Starling. Au niveau neuronal, l'adaptation semble voir améliorer la réponse inotrope positive à la stimulation sympathique par rapport à la réponse chronotrope. De plus, l'entraînement permet d'augmenter le volume plasmatique et le retour veineux, favorisant également indirectement le débit cardiaque. En ce qui concerne la fréquence cardiaque, il apparaît dans plusieurs études que les chiens sportifs ont une fréquence cardiaque au repos plus faible, une fréquence cardiaque pour un même exercice plus basse, alors que la fréquence cardiaque maximale reste inchangée [42]. Cette adaptation laisse alors une marge plus importante d'augmentation de la fréquence cardiaque au cours de l'effort, permettant une plus grande performance.

Après une période plus longue d'entraînement (au-delà de 8 semaines), on voit apparaître d'autres modifications telles qu'une augmentation du nombre de capillaires sanguins dans les muscles permettant une meilleure surface d'échange pour l'oxygène, ainsi qu'une augmentation du débit sanguin coronaire pour le travail du cœur. Au niveau des muscles locomoteurs, la capacité oxydative est augmentée avec l'entraînement en endurance. Les fibres musculaires intermédiaires de type IIa se transforment en fibres oxydatives en augmentant leur nombre de mitochondries et leur taux de myoglobine, en optimisant leur stockage du glycogène et en augmentant leur métabolisme aérobie. [18]

Au niveau respiratoire, il n'y a pas de modification majeure apportée au système après une phase d'entraînement et souvent la composante respiratoire n'est pas l'objectif principal de l'entraînement. Cependant, au début de l'effort, un sujet entraîné est capable d'adapter plus rapidement ses paramètres cardiovasculaires et métaboliques afin de limiter la dette en oxygène

par rapport à un sujet sédentaire. Plus la dette en oxygène est importante et plus le système respiratoire devra tenter de la compenser en augmentant le débit ventilatoire. On peut également supposer que la ventilation d'un chien devienne plus efficace avec l'entraînement, avec notamment une plus grande disponibilité des alvéoles pulmonaires et des muscles respiratoires plus performants.

L'entraînement en ambiance chaude permet une acclimatation à la chaleur en 20 à 60 jours. L'adaptation passe par une augmentation de la performance cardiovasculaire, une activation du système rénine-angiotensine pour la réabsorption d'eau et de sodium par les reins, et une amélioration de la polygnée thermique. Attention toutefois à rester dans des conditions d'entraînement raisonnables et ne limitant pas trop l'exercice afin de ne pas démotiver le chien avec des conditions trop difficiles et surtout afin d'éviter le coup de chaleur.

## **8) Stress oxydatif généré par l'effort [29] [31] [32]**

Un stress oxydatif est un état de déséquilibre entre les réactions oxydantes au sein d'une cellule et ses systèmes de défense antioxydants. Les cellules ne parviennent plus à maintenir une homéostasie et des espèces atomiques activées dérivant de l'oxygène vont provoquer des perturbations qui peuvent, si elles sont excessives, promouvoir le vieillissement cellulaire et certaines maladies comme le cancer, la cataracte, ou l'œdème pulmonaire. [33]

La rupture de cet équilibre peut être due à une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène ou à un manque de défenses antioxydantes lors par exemple :

- d'une modification de l'apport d'oxygène aux cellules (hypoxie, hyperoxygénation lors de ventilation assistée, ischémie/reperfusion tissulaire etc.),
- d'une carence en antioxydants par carence nutritionnelle,
- de la présence de substances pro-oxydantes tels que les pesticides, fumées toxiques, radiations, ultraviolets, métaux lourds ...)
- d'activation excessive des systèmes de production des radicaux libres par les cellules dans le cas de maladies cardio-vasculaires, inflammatoires, cataracte ou processus néoplasique.

Au sein d'un organisme, le métabolisme aérobie fait intervenir les mitochondries des cellules et plus précisément les chaînes respiratoires présentes en leur membrane interne. Les enzymes de la chaîne respiratoire transportent les électrons, notamment les électrons de l'oxygène et réalisent l'oxydation des co-enzymes réduites (NADH, FADH<sub>2</sub>...) afin de produire, à terme, l'énergie utilisable par les cellules sous forme d'ATP. Cependant, en même temps, des espèces réactives dérivées de l'oxygène (les radicaux libres) sont produites, qui seront à l'origine de dommages cellulaires dans le cas où les systèmes de défense seraient dépassés. Il y a donc des fuites physiologiques significatives d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire issus de la réduction de l'oxygène qui conduisent à la formation d'ions superoxydes O<sub>2</sub><sup>-</sup>. Ces fuites s'intensifient au cours de l'effort, amplifiant la production de dérivés de l'oxygène et générant un stress oxydant important. [43] En effet, l'organisme augmente sa consommation d'oxygène à une VO<sub>2</sub> très élevée et le métabolisme aérobie génère de nombreux radicaux libres.

Le stress oxydant du chien de sport pourrait être lié à des affections spécifiques comme les diarrhées de stress par altération des cellules épithéliales de la muqueuse intestinale, les lésions musculaires de rhabdomyolyse aiguës, ou encore au syndrome de mort subite du chien de traîneau qui est toujours associé à un effondrement du statut anti-oxydant du chien. [34]

L'oxygène est un élément clé de la physiologie de l'exercice. C'est un triplet possédant 2 électrons périphériques célibataires de spin parallèle et il est incapable de réagir spontanément avec la plupart des molécules qui sont des singulets. Il est présent dans l'air sous forme de dioxygène mais peut aussi être présent sous forme combinée que sont les oxydes. C'est un élément qui peut accepter des électrons libres facilement et les transmettre pour fournir de l'énergie pour des réactions chimiques d'oxydoréduction : il a une électronégativité élevée. L'oxygène peut être très réactif en présence de certains catalyseurs ou enzymes et donne des composés avec tous les éléments sauf avec He, Ne et Ar. Il peut alors former des liaisons iono-covalentes (MgO, ClO) ou des liaisons covalentes simples (H<sub>2</sub>O) ou multiples (CO<sub>2</sub>). [30]

Par exemple, le dioxygène fait partie du couple d'oxydoréduction O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O et lors de la réduction de O<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O, de nombreux réactifs intermédiaires de l'oxygène sont produits. Ce sont des radicaux libres, c'est-à-dire des espèces pouvant exister de façon indépendante et comprenant une orbitale électronique composée d'un ou de plusieurs électrons non appariés : les radicaux superoxydes, hydroxyles, alcoxyles, peroxydes etc. L'oxygène singulet est une forme activée de l'oxygène où les deux électrons périphériques se sont appariés et ont des spins inverses.

Les antioxydants sont les molécules ou les éléments contribuant à prévenir le stress oxydatif cellulaire. Soit ils inhibent directement la production de radicaux libres, soit ils empêchent leur propagation ou alors ils les détruisent une fois formés. Les antioxydants peuvent réduire ou oxyder les radicaux libres, les transformer en espèces plus stables, ou encore les séquestrer comme c'est le cas pour le fer libre. [35] Les antioxydants peuvent être des enzymes qui possèdent une grande affinité pour les radicaux libres et qui les neutralisent très rapidement. Parmi ces enzymes, on peut citer la superoxyde dismutase (la plus importante), la catalase, la glutathion peroxydase, l'hème oxygénase, les thiorédoxines et la thiorédoxine réductase. [40]

La prévention du stress oxydant chez le chien de sport passe par l'apport raisonné d'antioxydants non enzymatiques dans l'alimentation. Les antioxydants alimentaires sont nombreux : les polyphénols, les caroténoïdes, les flavonoïdes, les vitamines E, C et les β-carotènes, les oligoéléments tels que le sélénium, le cuivre, le zinc et le manganèse etc. Ils se retrouvent dans de nombreux aliments. [35] Il est alors judicieux de choisir l'alimentation du chien de sport en prenant garde à la composition en antioxydants de la ration. Il est souvent nécessaire de compléter une ration ménagère en antioxydants car elle n'en apporte pas toujours suffisamment pour combler les besoins d'un chien sportif qui augmentent selon l'intensité de l'effort, la durée, ou le stress.

## **9) Les marqueurs biochimiques au court de l'effort**

### **a) La glycémie : [44]**

Suivre la glycémie au cours de l'effort permet d'apporter des précisions sur le métabolisme des chiens de canicross. Au début de l'effort, l'organisme réagit comme en réponse à un stress. Les fibres sympathiques post-ganglionnaires libèrent de la noradrénaline et la glande médullo-surrénale libère de l'adrénaline, ce qui active la glycogénolyse et la lipolyse.

Puis en fonction de l'effort, le métabolisme peut changer vers une économie du glucose afin de le stocker sous forme de glycogène. Le pancréas sécrète alors du glucagon qui diminue l'utilisation du glucose et augmente la libération d'acides gras, et d'autre part il y a une

augmentation de la synthèse protéique par l'intermédiaire de la sécrétion de l'hormone de croissance.

Suite à un entraînement, on observe une adaptation à l'effort avec une augmentation des récepteurs à l'insuline au niveau des cellules musculaires. L'insuline est sécrétée par le pancréas et permet de faire entrer le glucose sanguin dans les cellules. Avec cette adaptation, l'organisme peut alors changer plus efficacement de métabolisme énergétique au cours de l'effort, mieux régénérer les réserves énergétiques du muscle et ainsi optimiser la récupération.

### **b) Les lactates sanguins (L-lactates) [45] [46]**

Les lactates sont produits dans des conditions anaérobies par toutes les cellules de l'organisme, par exemple lors d'hypoxie cellulaire, d'état de choc et d'hypoperfusion tissulaire, d'anémie marquée, de détresse respiratoire ou d'hypermétabolisme. Ils provoquent une acidose lactique métabolique. L'accumulation de lactates provient d'un déséquilibre entre leur production et leur consommation avec une production excessive ou une utilisation insuffisante. On distingue plusieurs types d'acidose :

- L'acidose lactique de type A est une hyperlactatémie secondaire à une hypoxie tissulaire. La lactatémie révèle la qualité de la distribution tissulaire en oxygène lors d'un fonctionnement mitochondrial normal. Il s'agit de l'acidose que nous risquons de rencontrer chez les chiens au cours d'un effort physique.
- L'acidose lactique de type B (rare) est liée à un dysfonctionnement mitochondrial par exemple lors de maladies hépatiques, diabète sucré, sepsis, insuffisance rénale, cancer ou lors d'ingestion de toxines ou lors d'administration de médicaments qui interfèrent avec la phosphorylation oxydative.

Les valeurs usuelles de la lactatémie se situent en dessous de 2.5mmol/L et la lactatémie s'interprète suivant sa cinétique.

La mesure de la lactatémie avant et après l'effort est un indicateur de l'hypoxie cellulaire des chiens. La corrélation avec des indicateurs de l'état d'hydratation permet d'exclure une souffrance tissulaire due à un défaut de vascularisation. En parallèle de la lactatémie, l'observation de la glycémie nous permet d'obtenir des précisions sur le métabolisme énergétique des chiens sportifs et sédentaires et objectiver une adaptation à l'effort.

### **c) Enzymes musculaires**

**La créatine kinase (CK)** est très spécifique du tissu musculaire. Elle est présente dans le myocarde et les muscles squelettiques et sa libération dans le sang constitue un marqueur de lésions musculaires. Il en existe 3 formes : la forme BB fœtale et cérébrale, la forme MM musculaire et la forme MB myocardique. Seule la CK totale est dosée et les valeurs usuelles se situent en dessous de 10 U/L. La CK est sensible à l'hémolyse puisque les hématies lysées libèrent du glucose-phosphate analogue à la phospho-créatine, donc il faudra prêter attention aux artéfacts potentiels. [47] Elle est libérée rapidement dans le sang et son temps de demi-vie est de moins de 2h. Une augmentation signe donc une lésion musculaire récente.

La CK est faiblement modifiée lors d'un effort d'une durée courte comme lors d'un sprint ou un effort ne dépassant pas 1h mais elle dépend de l'intensité de l'effort. L'activité de CK est plus élevée après un effort mais elle est plus basse chez des chiens entraînés que chez des chiens non entraînés. [48] Lorsque l'effort est terminé, la CK continue d'augmenter dans le

sang jusqu'à atteindre un pic entre 3 et 8 heures après la fin de l'effort [54]. La CK peut être utilisée pour déterminer l'intensité de l'effort fourni et objectiver l'adaptations à l'effort des chiens.

**L'Aspartate Aminotransférase (ASAT)** a une plus faible spécificité que la CK pour les lésions musculaires du fait de la forte activité dans d'autres organes comme le foie et les globules rouges. Elle apparaît aussi moins rapidement dans le sang que la CK mais elle possède une demi-vie plus longue de 5 heures. Ses valeurs usuelles se situent en dessous de 50 U/L. Elle peut être dosée en parallèle des CK pour objectiver les lésions musculaires.

**La lactate déshydrogénase (LDH)** a une faible spécificité tissulaire : Il existe 5 iso-enzymes tétramériques, formées de l'assemblage de sous-unités H (heart) et M (muscle) réparties dans le foie, le rein, le myocarde, le cerveau, les muscles, les hématies et plaquettes et elles se concentrent aussi dans les tissus lymphoïdes et tissus néoplasiques. Dans le cadre du test d'effort, et mises en relation avec un autre marqueur musculaire, les LDH indiquent des lésions tissulaires. [49]

#### **d) Albumine et protéines totales [50]**

Un faible taux de protéines peut provenir d'une augmentation des pertes d'origine rénales, digestives ou cutanées lors de brûlure/plaie. Il peut aussi être dû à une malabsorption digestive, à la malnutrition ou à une insuffisance hépatique sévère. Plus fréquemment, on retrouve un taux de protéines sériques élevé principalement lors de perte liquidienne importante et de déshydratation extracellulaire. Une augmentation des protéines peut aussi être due à une inflammation chronique avec production d'immunoglobulines qui rendent le plasma visqueux, ou à une atteinte de la moelle osseuse (myélome).

**L'albumine** est produite par les hépatocytes et représente 30 à 45% des protéines plasmatiques. Une diminution de l'albumine peut marquer une insuffisance hépatique, elle peut aussi être due à une perte cutanée lors de brûlure ou d'inflammation, à un état cachectique, au parasitisme ou à une hyperthermie. Une augmentation de l'albumine est principalement due à une déshydratation et on pourra mettre en relation l'hématocrite avec le dosage de l'Albumine et des protéines totales pour observer l'état d'hydratation des chiens.

**Le taux de globulines** se déduit du dosage de l'albumine sérique et des protéines totales (Globulines = Protéines totales – Albumine). Il permet de représenter la proportion relative de l'albumine par rapport aux autres protéines sériques grâce au rapport albumine/globuline (A/G) dont les valeurs usuelles chez le chien sont situées entre 0,59 et 1,11.

- Si le rapport est normal : avec une hyperprotéïnémie, il s'agit d'une déshydratation, alors qu'avec une hypoprotéïnémie, il s'agit de pertes sanguines (hémorragies), d'hyperhydratation ou de pertes externes de plasma (brûlures, diarrhée, pertes gastro-intestinale, pertes exsudatives).

- Si le rapport est diminué : avec une perte d'albumine, il s'agit d'une glomérulopathie ou d'une diminution de la synthèse hépatique, alors qu'avec une augmentation des globulines, il faudrait effectuer une électrophorèse des protéines pour savoir lesquelles sont augmentées car cela peut indiquer des pathologies différentes (myélome multiple, maladie auto-immune).

- Un rapport augmenté signifie une production insuffisante d'immunoglobulines comme par exemple lors de leucémie.

### **e) Protéine CRP Randox [51]**

La protéine C réactive est une protéine précoce de la phase aiguë de l'inflammation. Sa synthèse est exclusivement hépatique. Elle a une cinétique rapide : l'augmentation se manifeste généralement dès 4 à 6 h et sa sécrétion est maximale au bout de 24 h après le début du phénomène inflammatoire et le retour à la normale se fait en 5 jours.

Ses valeurs usuelles sont comprises entre 0.8 et 200 mg/dL. Elle peut s'élever jusqu'à 80 mg/dL lors de gestation et jusqu'à 600 mg/dL lors d'infection. Son dosage permet de détecter une inflammation, une infection ou bien des lésions tissulaires.

### **f) L'ionogramme**

L'ionogramme des chiens avant et après effort permet de vérifier que le test n'induit pas de désordre électrolytique majeur qui pourrait expliquer des baisses de performance, ou qui justifierait un apport hydrique supplémenté en électrolytes après l'effort pour la récupération.

## **10) Mesure du stress oxydatif :**

### **a) Les marqueurs du stress oxydatif [31] [52] [53]**

Le stress oxydant implique de nombreux paramètres et il est nécessaire de combiner plusieurs méthodes pour l'évaluer le plus précisément possible. Ainsi, les marqueurs du stress oxydant peuvent être :

- Les espèces réactives de l'oxygène et de l'azote (la seule mesure directe) :  $O_2^\circ$ ,  $HO^\circ$ ,  $H_2O_2$ ,  $NO_3$  etc. Elles sont mesurées par la résonance paramagnétique électronique (RPE).

Le problème des radicaux libres est qu'ils sont difficiles à détecter car ils ont une demi-vie courte et qu'ils sont parfois produits en très faible quantité.

- Les antioxydants et oligoéléments : sélénium, zinc, cuivre, vitamine C,  $\alpha$ -tocophérol, vitamine A,  $\beta$ -carotène, glutathion réduit/oxydé, vitamine B6, B9, B12, superoxyde dismutase, glutathion peroxydase, acide urique, ubiquinone, capacité anti-oxydante totale (test ORAC).
- Les produits d'oxydation : Peroxydes lipidiques, LDL oxydés, isoprostanes, 8-hydroxydésoxyguanosine, protéasomes.
- Des sources d'oxydation : le statut en fer (Fer libre, Fe sérique, ferritine, coefficient de saturation en fer de la transferrine), myéloperoxydase, homocystéine, glucose.



## **b) Mesure de la fluidité membranaire érythrocytaire par Résonance Paramagnétique électronique (RPE) [32]**

- **Notion de fluidité membranaire :**

De par l'orientation des phospholipides vis-à-vis des compartiments aqueux, une membrane est un milieu hautement anisotrope et hétérogène dont les composants sont animés de nombreux mouvements. Ainsi, loin d'être un édifice statique de phospholipides, les membranes biologiques (tout comme les lipoprotéines) sont des assemblages dynamiques où chaque constituant est animé de mouvements moléculaires propres ou submoléculaires (rotation axiale, diffusion latérale, flexion, flip-flop...) définissant la **dynamique lipidique** (modèle de la mosaïque fluide). La sommation de ces différents mouvements à courte échelle définit la **fluidité membranaire** (Shinitzky, 1984).

Il va de soi que les termes de Fluidité membranaire et de Dynamique Lipidique sont deux façons d'exprimer les mêmes phénomènes.

Lors d'attaque radicalaire, en particulier des doubles liaisons des acides gras insaturés, la création de ponts inter- et intramoléculaires affecteront grandement la diffusion latérale et la flexion des acides gras et donc la fluidité globale des membranes également. La mesure de celle-ci sera donc en corrélation avec l'intensité de l'attaque radicalaire et reflètera en outre la plus ou moins grande efficacité des capacités antioxydantes de l'organisme.

Les variations de fluidité membranaire peuvent être mesurées grâce à l'utilisation d'une méthode spectroscopique hertzienne : la RPE qui permet d'étudier les mouvements moléculaires de sondes extrinsèques au sein d'une structure lipidique comme la bicouche de la membrane érythrocytaire.

Cette méthode permet par ailleurs de mesurer directement un flux radicalaire et d'identifier les radicaux, mais au prix de conditions drastiques très rarement compatibles avec des conditions expérimentales classiques.

- **La RPE : Principe Général :**

Toute particule chargée en rotation sur elle-même crée son propre champ magnétique local. Dans le cas de l'électron, le moment magnétique de spin qui en résulte est défini par :

$$\mu_e = - g \beta_e S$$

Où  $g$  est le facteur spectroscopique de Landé,  $\beta_e$  le magnéton de Bohr et  $S$  le moment angulaire intrinsèque de l'électron.

En l'absence de champ magnétique externe, les noyaux des atomes ont une orientation aléatoire de leurs spins électroniques (les moments de spin sont orientés au hasard dans l'espace) : on parle alors **d'état de dégénérescence quantique**.

Sous l'effet d'un champ magnétique externe  $B$ , les spins électroniques s'orientent parallèlement ou antiparallèlement au champ magnétique créant ainsi deux niveaux d'énergie distincts ou états de Zeeman. La différence d'énergie  $\Delta E$  existant entre les deux niveaux est définie par :

$$\Delta E = g \beta_e B$$

En pratique, un champ magnétique, que l'on peut faire varier, est appliqué à la cavité résonnante où se trouve l'échantillon. Le but est d'obtenir l'orientation parallèle ou antiparallèle des moments magnétiques par rapport à la direction du champ et la distribution des spins électroniques sur les 2 niveaux d'énergie possibles (moment angulaire de spin  $+1/2$  et  $-1/2$ ) tels que définis par  $\Delta E$ .

L'application d'une onde électromagnétique (de fréquence  $\nu$ , constante, et d'énergie  $\Delta E = h \nu$  ou  $h$  est la constante de Planck) perpendiculaire au champ magnétique va modifier cette distribution : lorsque l'énergie de l'onde électromagnétique incidente sera égale à la différence d'énergie entre deux niveaux telle que  $h \nu = \Delta E = g \beta_e B$ , l'**état de résonance** sera atteint. La transition des spins électroniques d'un niveau énergétique inférieur vers un niveau supérieur et l'inverse sera alors possible. Les probabilités de transition de spin d'un niveau d'énergie inférieur vers un niveau supérieur (correspondant à une absorption d'énergie) ou inversement (correspondant à une émission d'énergie) sont identiques. Toutefois le niveau d'énergie inférieur étant le plus peuplé, le résultat global le plus probable sera une absorption d'énergie. D'après l'équation précédente, l'état de résonance est dépendant de la fréquence des radiations électromagnétiques ( $\nu$ ) ou de l'intensité du champ magnétique ( $B$ ).

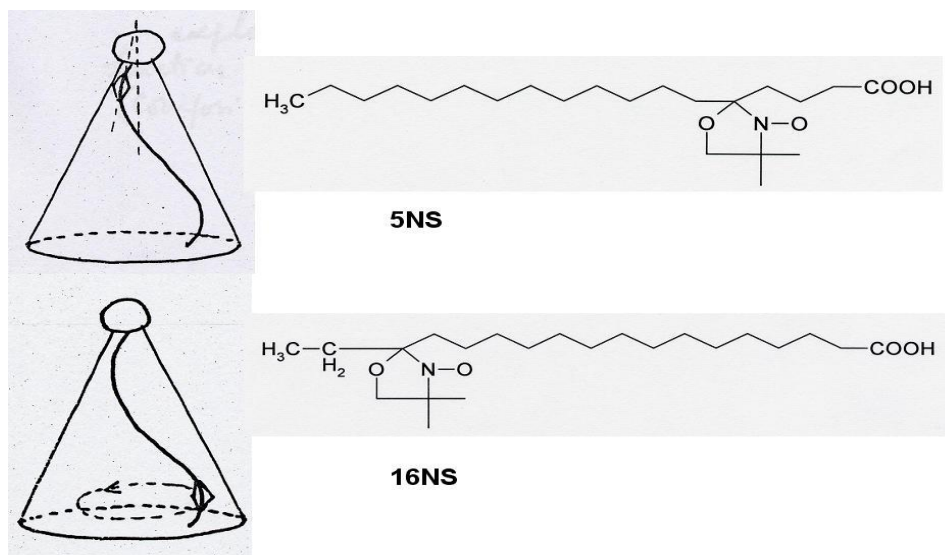
En RPE, alors que la longueur d'onde de l'onde électromagnétique reste constante, on fait varier le champ magnétique. Lors du phénomène de résonance, l'absorption d'énergie se caractérise par un pic de résonance dont la dérivée première (pour permettre de déceler les plus infimes variations) sous forme d'une **raie de résonance**, est présente sur tous les spectres de RPE.

- **Application de la RPE à l'étude de la fluidité et de l'ordre membranaires des érythrocytes :**

On utilise des sondes extrinsèques paramagnétiques dont on se propose d'étudier les mouvements en fonction du plus ou moins grand degré de liberté permis par la structure qui les contient (membrane érythrocytaire dans notre cas). Ces sondes sont des analogues structuraux d'acides gras : les acides doxyl stéariques (ou AG-nitroxydes) qui comportent un groupement nitroxyl soit sur le carbone 5 ou le carbone 16 de la chaîne hydrocarbonée. On utilisera ainsi :

- le 16 doxyl acide stéarique (16-DS ou 16-NS)
- le 5 doxyl acide stéarique (5-DS ou 5-NS)

Ces acides gras paramagnétiques se comportent du point de vue de l'encombrement stérique de manière identique à des acides gras diamagnétiques. Dans une membrane biologique, ces acides gras sont orientés perpendiculairement à la surface de la membrane de sorte que le groupement polaire soit orienté vers le milieu aqueux et la chaîne hydrocarbonée en contact avec les chaînes d'acides gras naturels environnants dans la membrane. Ainsi le 16-NS rapportera des mouvements moléculaires au cœur de la membrane et rendra compte de phénomènes dynamiques tandis que le 5-NS décrira les phénomènes d'ordre moléculaire à la surface de la membrane (Figure 34).



*Figure 34 : Sondes 5-NS et 16-NS et domaines membranaires explorés*

La durée des mouvements de ces sondes (temps de relaxation spin-spin) sera d'autant plus importante qu'elles se déplaceront lentement dans un milieu moins fluide. Cette durée, de l'ordre de  $10^{-9}$  à  $10^{-7}$  seconde, déterminera la largeur naturelle de la raie de résonance. Celle-ci sera proportionnelle à un temps caractéristique appelé temps de corrélation-relaxation ( $\tau_c$ ) lors de l'utilisation du 16-NS, exprimé en nanosecondes, qui évolue comme l'inverse de la fluidité membranaire (ou qui est proportionnel à la viscosité). Dans le cas de l'utilisation du 5-NS, on déterminera le degré d'ordre structurel de la membrane en calculant « S » qui correspond aux possibilités de déplacement de la sonde dans un cône théorique d'angle  $\theta$ . S évoluera entre 0 et 1 (1 : cas théorique d'un système idéalement ordonné où la sonde ne pourrait se mouvoir qu'autour d'un seul axe /  $\theta = 0$ ). Le degré d'ordre évoluera de façon inverse à la fluidité de la membrane.

Du fait d'interactions entre le champ magnétique externe et le champ magnétique nucléaire (dû aux moments magnétiques nucléaires les plus proches), se superposent, au niveau d'énergie électronique induit par l'effet Zeeman, des niveaux d'énergie supplémentaires. Dans le cas de l'atome d'azote des radicaux nitroxyles utilisés en marquage de spin, le moment magnétique nucléaire produit un champ magnétique local qui s'ajoute au champ magnétique externe et permet d'observer le phénomène de résonance à trois niveaux d'énergie : le spectre obtenu va ainsi être caractérisé par la présence de trois raies de résonance (une raie principale de plus grande amplitude et deux raies « accessoires » qui respectivement précède et suit la raie principale). Ces trois raies correspondent aux trois valeurs différentes de champs magnétiques pour lesquels le système d'électrons non appariés entre en résonance (l'absorption d'énergie incidente étant maximale pour la valeur du champ magnétique permettant d'observer la raie centrale).

- Cas du 16-NS

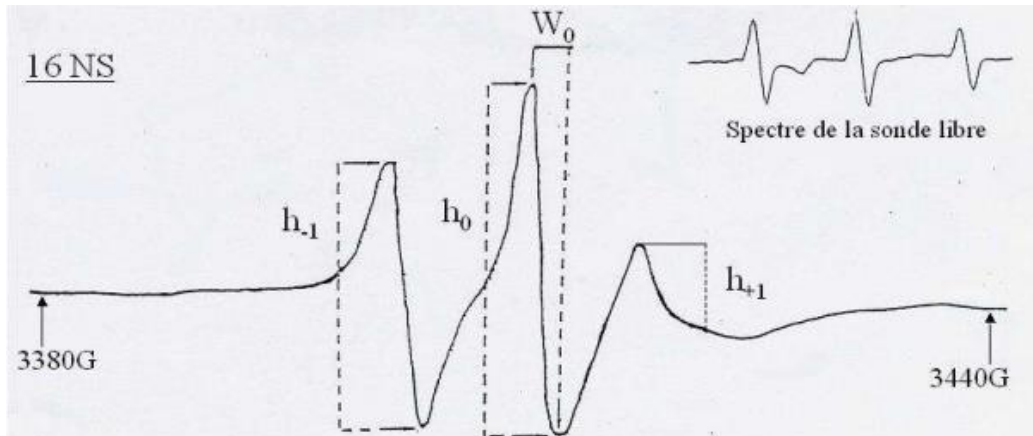


Figure 35 : Spectre RPE d'érythrocytes marqués au 16-NS (et critères de détermination du temps de corrélation-relaxation).

De la largeur des raies et de leur amplitude on va déduire la valeur de  $\tau_c$  selon la relation de Keith (Keith, 1973) :

$$\tau_c = 6.5 \cdot 10^{-10} \omega_0 \left( \sqrt{h_0/h_{-1}} + \sqrt{h_0/h_{+1}} - 2 \right)$$

Où  $h_0$ ,  $h_{-1}$  et  $h_{+1}$  correspondent à l'amplitude des trois raies observées et  $\omega_0$  à la largeur de la raie principale exprimée en mT (milli Tesla) (Figure 35) avec  $\tau_c$  exprimé en ns.

- Cas du 5-NS

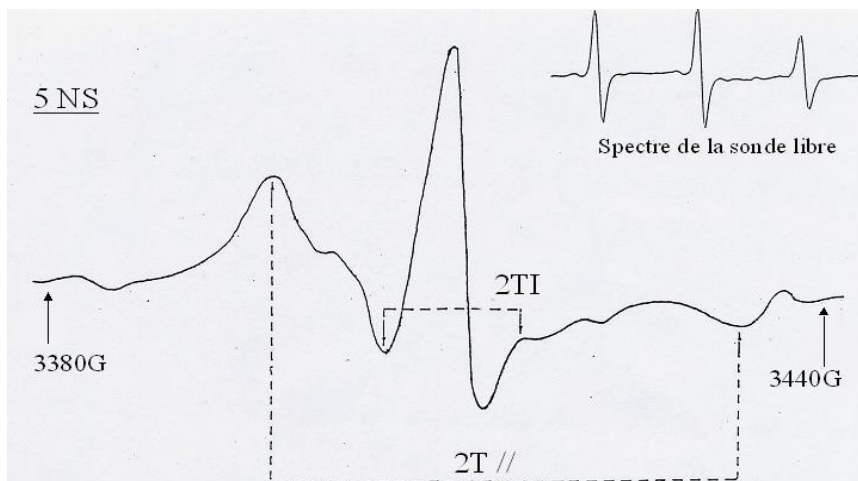


Figure 36 : Spectre RPE d'érythrocytes marqués au 5-NS (et critères de détermination du degré d'ordre).

Où  $2T //$  et  $2T I$  correspondent aux valeurs extrêmes externes et internes utilisées dans le calcul du degré d'ordre S.

La mesure du degré d'ordre S correspond à : (Figure 36)

$$S = \frac{T_{\text{par}}(\text{exp}) - T_{\text{per}}(\text{exp})}{T_{\text{par}}(\text{max}) - T_{\text{per}}(\text{max})}$$

Où  $T_{\text{par}} - T_{\text{per}}$  correspondent aux constantes de couplage mesurées (exp) par rapport aux constantes de couplage théoriques (max) observées pour un système idéalement ordonné : type spectre de poudre. Le spectre de poudre est un spectre théorique obtenu sur une poudre avec  $S=1$  correspondant à un degré d'ordre absolu ne permettant aucun mouvement moléculaire.

### **III) ENTRAINEMENT ET PREPARATION PHYSIQUE**

#### **1) Différences entre athlète humain et canin**

Les propriétaires de chiens de canicross sont tentés de leur construire un plan d'entraînement par analogie avec celui des coureurs humains de demi-fond. L'effort semble en effet s'en rapprocher par son intensité et sa distance. L'athlète humain met en jeu son métabolisme aérobie et anaérobie et produit de l'acide lactique à partir d'une certaine  $VO_2$ . A l'entraînement, il travaille en vue d'améliorer sa puissance musculaire et sa résistance à l'acide lactique grâce à des exercices de course fractionnés. Par ailleurs, nous savons que le chien utilise en partie son métabolisme aérobie et anaérobie à l'effort et qu'il puise dans ses ressources lipidiques ainsi que dans ses réserves glucidiques dans des proportions qui varient selon que son effort est submaximal ou supramaximal. Cependant, nous ne connaissons pas précisément la part de chaque filière énergétique au cours d'un effort de canicross et on pourrait supposer que l'intensité de l'effort l'amène à utiliser plus de glucides et à produire plus d'acide lactique par rapport à un chien réalisant une course d'attelage sur de plus longues distances.

L'intérêt de l'étude suivante est de préciser la physiologie de l'effort du chien de canicross afin de déterminer s'il serait judicieux d'intégrer des séances d'entraînement en séries fractionnées comme chez l'homme dans leur plan de préparation physique. Ces entraînements fractionnés sont des séances dont la distance totale correspond environ à celle des compétitions mais fractionnée en plusieurs parties (séparées par des périodes de repos) et dont la vitesse est équivalente ou supérieure à celle visée en compétition.

Par ailleurs, une autre différence fondamentale entre l'homme et l'animal est la source de leur motivation pour courir. Alors que l'homme peut être motivé par la performance, sa progression personnelle et la programmation de son planning d'entraînement et de ses objectifs, le chien lui, n'est motivé que dans l'instant présent par le plaisir que lui procure la course, pour faire plaisir à son maître ou bien par tout autre élément dans l'environnement de course comme un terrain boisé, la présence d'animaux sauvages ou d'autres congénères etc. Ainsi, l'homme pourra plus facilement s'imposer des séances éprouvantes et répétitives en gardant son objectif à l'esprit. Alors que chez le chien, la baisse de la motivation engendrée par la difficulté de l'effort et la répétabilité des séries pourrait être supérieure au réel bénéfice physiologique. En effet, un chien bien entraîné mais qui a perdu son envie de courir risquera de ne pas réaliser la performance attendue lors de la compétition. Il convient donc de faire des compromis et de trouver des astuces pour allier les principes théoriques et idéaux de l'entraînement avec tout ce qui apporte un aspect ludique aux séances. Par exemple pour le chien il est intéressant de s'entraîner en groupe avec d'autres congénères d'un niveau équivalent ou bien de varier les terrains et les parcours, de simuler des départs de course etc.

## **2) Principe de l'entraînement [16] [18]**

L'entraînement d'un chien de canicross permet d'améliorer ses performances de course quantifiables en termes de vitesse, de temps sur un parcours donné, ou bien par rapport à d'autres concurrents en compétition. Le maître est aussi capable d'évaluer subjectivement la performance de son chien par rapport aux entraînements réalisés en amont. Au cours des séances d'entraînement on cherche à améliorer la puissance de traction, la vitesse de course et l'endurance. Pour cela, l'entraînement provoque des adaptations physiologiques à la réalisation de l'effort physique avec une amélioration des systèmes cardio-vasculaire et respiratoire, une amélioration de la dette en oxygène, de la polypnée thermique, des muscles et avec des défenses antioxydantes développées. Le métabolisme des chiens se modifie également en développant les filières métaboliques aérobies et la mobilisation des réserves glucidiques et en améliorant la résistance à l'acide lactique.

La part psychologique de l'entraînement n'est pas à négliger et comprend une habitude et un conditionnement positif du chien à l'effort afin de réduire le stress de la compétition qui pourrait influencer la performance. Il y a un travail à réaliser sur le mental du chien, l'entretien de sa motivation à courir, son obéissance pour répondre aux ordres et aux directions, sur la gestion des départs et des dépassements en course. L'entraînement englobe, outre l'aspect strictement physique, un relationnel homme-chien entretenant l'aspect ludique de l'effort demandé.

Un plan d'entraînement se construit en ayant connaissance de la nature exacte de l'effort demandé et des filières métaboliques majoritairement employées. Il se compose d'une succession de séances, c'est-à-dire d'exercices ciblant l'amélioration de fonctions précises pour conduire à une adaptation la plus optimale de l'organisme à l'effort. Même si 4 à 5 semaines peuvent suffire à obtenir des effets remarquables sur les performances d'un chien, la période de préparation optimale dépend surtout de l'état d'entraînement de base du chien et de la difficulté de l'objectif à préparer.

Le principe de l'entraînement est de provoquer une adaptation de l'organisme à un effort physique spécifique, il est donc nécessaire de lui imposer une charge de travail supérieure à celle qu'il a l'habitude de réaliser. Il est possible de jouer sur la fréquence des séances hebdomadaires, sur l'intensité ou la durée de l'exercice.

## **3) Evaluer l'état de santé et d'entraînement initial du chien**

Tout d'abord, on ne peut envisager un entraînement sportif intense que sur un chien ne présentant aucune pathologie médicale connue telle qu'une insuffisance cardiaque ou un problème respiratoire comme dans le cas des brachycéphales. De même qu'un chien sous traitement n'est pas en mesure de participer à un entraînement intensif. Il ne doit présenter aucun problème articulaire et il ne doit pas non plus être en surpoids, auquel cas il faudra le remettre en forme en amont par un exercice modéré et progressif en parallèle d'une alimentation spécifique. Pour pouvoir débiter un entraînement intensif, le chien doit avoir terminé sa croissance et être âgé généralement de plus de 12 mois d'après les règlements de course, voire même 15 mois pour les grands chiens. Entre 10 et 15 mois, il est cependant possible et conseillé d'éduquer son chien très progressivement à la traction pour lui donner goût au sport, l'éduquer avec les ordres nécessaires et commencer sa progression physique. On préconise alors des sorties très courtes et contrôlées en termes d'intensité et de vitesse pour respecter sa croissance qui n'est pas terminée.

Avant de préparer un planning d'entraînement il est important d'estimer l'aptitude physique du chien et son état d'entraînement actuel. En analysant son passé sportif, on peut fixer des repères de vitesse moyenne, de distance et de profil de course pour la construction des séances. Si le chien n'a aucun passé sportif, il faut s'assurer qu'il ait déjà de bonnes habitudes de vie avec des sorties quotidiennes et une alimentation adaptée, puis réaliser dans un premier temps des sorties en canicross de courtes durées (20-30 min) en course continue, de préférence avec d'autres partenaires canins et humains pour le motiver à courir, afin de déterminer sa vitesse de course de base et son endurance.

Ensuite, l'objectif sportif est défini précisément en termes de durée d'effort, de dénivelé et profil du terrain, de la traction attendue, mais aussi en fonction des caractéristiques du binôme chien-coureur. S'ils aiment la vitesse, des parcours de 3 à 5 km plutôt plats et rapides seront adaptés, alors que s'ils préfèrent les plus longues distances et le dénivelé, on choisira plutôt un parcours en montagne d'environ 8 km. Le type d'effort idéal peut aussi dépendre de l'âge du chien, de sa race et de sa morphologie.

L'objectif fixé permettra de garder durant la période d'entraînement une motivation pour le maître mais qui pourra se répercuter sur le chien. Il est intéressant de prévoir des épreuves préparatoires intermédiaires, des courses de canicross, à intégrer au plan de préparation pour l'objectif final. L'échéance sportive ne doit pas être trop précoce afin de garder une période d'adaptation suffisante. La période de préparation totale est idéalement de 8 semaines et peut être d'organisée en cycles de 3 à 4 semaines entrecoupées de jours de repos. Selon le passé sportif de l'individu et son aptitude physique initiale, on fera varier la période d'adaptation pour atteindre une performance raisonnable.

Le plan d'entraînement se construit par l'enchaînement de séances spécifiques pour le développement de la puissance, de la vitesse ou de l'endurance et on distinguera les entraînements dits « en continu » des entraînements « fractionnés ».

#### **4) L'entraînement en continu**

L'entraînement en continu consiste à faire courir le chien sans interruption pendant la durée de la séance. Il peut se réaliser sur différentes distances et à différentes allures de course, et donc permettre de travailler soit en endurance, en faisant appel au métabolisme aérobie strict, ou soit à une plus haute intensité pour un travail du métabolisme mixte aérobie-anaérobie.

La course continue à vitesse moyenne sur de longues distances, c'est à dire jusqu'à 2 à 3 fois la distance de l'objectif prévu, permet de travailler l'endurance du chien : on se situe aux alentours de 70%-80% de la FCmax pour ce type d'effort.

L'intensité d'une séance d'entraînement peut être déterminée par une fréquence cardiaque cible à atteindre qui se calcule comme un pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FCmax). Ces pourcentages sont une estimation afin de donner une idée de l'intensité de la course à fournir car, en pratique, les cardiofréquencemètres canins ne sont pas encore apparus sur le marché pour le monitoring du chien à l'effort.

L'entraînement en continu permet au chien d'être capable le jour de l'objectif de tenir l'effort pendant tout le parcours sans diminuer sa vitesse ni sa force de traction. Par exemple pour un objectif de course de 4km, la séance pourra être de 8 à 12 km.

Ce type d'entraînement réalisé en traction permet à la fois de travailler les capacités aérobies en même temps que la force musculaire de traction. De plus, le travail de longue durée

améliore les capacités de stockage et la mobilisation du glycogène dans le muscle, en plus de l'aptitude à mobiliser et à utiliser les lipides.

Dans le cas d'un objectif plus long comme une course de 8 à 12 km en canicross, les séances en endurance ne devront pas être trop longues non plus, et ne pas dépasser 14-15km, au risque de trop diminuer la vitesse de course et de perturber le chien dans ses allures pour la compétition. Un entraînement trop long et trop éprouvant pourrait également être néfaste psychologiquement pour l'envie de courir du chien. Les distances d'entraînement doivent donc pouvoir être tenues à une allure raisonnable et confortable à courir pour le chien.

Pour des entraînements à des fréquences cardiaques inférieures à 250 bpm, l'effort pourrait être monitoré à l'aide d'un cardiofréquencemètre destiné à l'homme même si son usage reste en pratique peu aisé à cause des mouvements parasites des électrodes dus à la locomotion quadrupodale.

Les entraînements en course continue peuvent également se réaliser à plus haute intensité, c'est-à-dire à 80-90% de FCmax, comme lors des courses préparatoires avant l'objectif final. Ce type d'effort est éprouvant et implique une mobilisation des réserves plus importante, nécessitant une période de repos après la séance de 1 ou 2 jours au minimum. Cependant, il permet un travail efficace des filières aérobies et anaérobies ainsi qu'un travail en endurance pour maintenir l'allure, proche de celle des compétitions, pendant toute la distance du parcours demandé. Ces séances sont aussi une opportunité d'évaluer l'état d'entraînement et de forme du chien à un moment donné du planning d'entraînement pour éventuellement adapter la suite du programme.

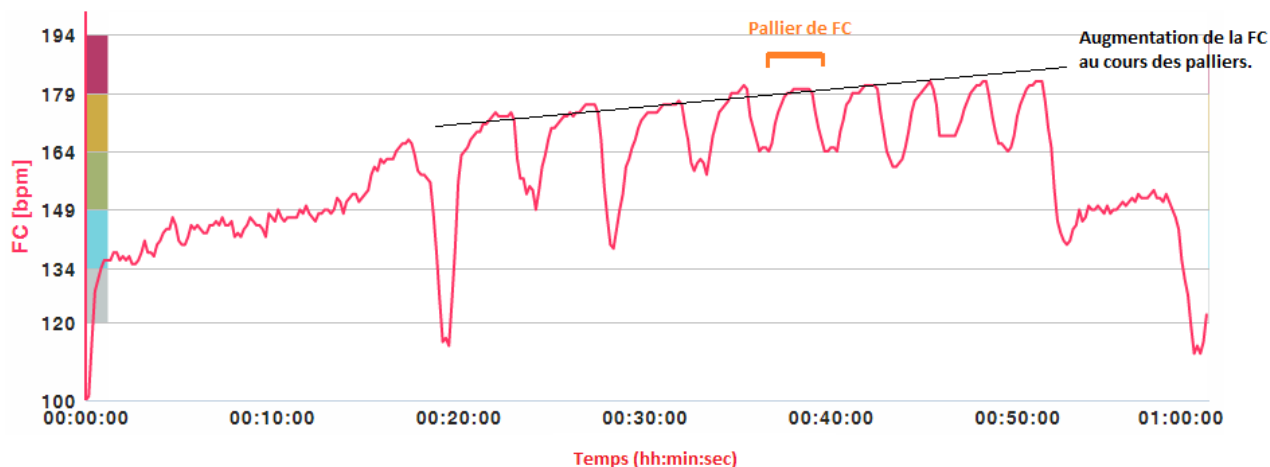
## **5) L'entraînement fractionné**

### **a) Généralités**

L'entraînement fractionné consiste à décomposer la séance en périodes de travail intense séparées par des périodes de récupération incomplète. Les périodes de récupération peuvent se réaliser en statique ou préférentiellement en course à allure lente et sans traction favorisant l'élimination de l'acide lactique des muscles. La séance peut se décomposer en plusieurs séries qui sont une suite de répétitions de périodes de course et récupération elles-mêmes séparées par de plus grandes périodes de repos. *Par exemple lors d'une séance notée « 10 x 30 sec |R1 min, récupération entre les séries 3 min », cela signifie qu'il faut courir 30 secondes, récupérer 1 minute, courir 30 secondes etc. à répéter 10 fois, puis récupérer 3 minutes avant de recommencer une série de 10 x 30 secondes/1 minute/30 secondes etc.*

Le nombre de répétitions est déterminé par la durée totale de l'entraînement qui doit durer entre 20 et 30 minutes pour observer une réelle adaptation biologique pour un effort de canicross. La détermination de la période de repos peut se faire par mesure de la fréquence cardiaque (FC) après une période de travail : la FC doit alors avoir baissé mais elle ne doit pas avoir le temps de descendre jusqu'à la FC de repos. Le schéma de la fréquence cardiaque doit augmenter en dents de scie durant la séance d'entraînement jusqu'à atteindre la FCmax en fin de séance comme représenté sur la figure 37.





*Figure 37 : Courbe de la fréquence cardiaque au cours d'une séance fractionnée chez l'homme.* [Illustration personnelle selon une figure de *Running addict*, Préparation semi-marathon : Le bilan à mi-chemin.]

De nombreuses séances différentes d'entraînement en fractionné sont possibles selon les durées de course et de récupération et le nombre de répétitions. Pour adapter la séance au chien, il est possible de se baser sur l'observation de la fréquence cardiaque mais en pratique il est plus facile d'observer la réaction du chien à l'entraînement. S'il est réticent à exécuter un certain nombre de répétitions, ou si sa vitesse de course ou sa traction diminue, on conclura à une trop forte intensité de l'exercice. A l'inverse, si le chien effectue trop facilement l'enchaînement des répétitions, c'est que l'exercice n'est pas assez intense ou que les temps de repos sont trop longs.

L'intérêt de ce type de séance est d'augmenter l'effort à une plus haute intensité que lors d'un entraînement en continu, en retardant par les périodes de repos la montée d'acide lactique qui s'accumule dans les muscles.

### **b) Séance pour l'amélioration de la filière énergétique anaérobie lactique**

Pour l'entraînement des processus anaérobies lactiques, un effort court intense à environ 90-100% de la FCmax, entrecoupé de récupérations un peu plus longues sera approprié, à titre d'exemple la séance de **2 séries de 10x30sec|R1min**. En effet, la course rapide permet de mettre en jeu le métabolisme anaérobie et la période de repos plus longue retarde l'accumulation d'acide lactique ce qui permet au chien d'enchaîner les répétitions. L'organisme utilise de façon répétée les réserves intramusculaires d'ATP et de phosphocréatine et transforme le glycogène en acide lactique, ce qui stimule l'augmentation de la capacité énergétique du système anaérobie et augmente la résistance du muscle à l'acidose.

### **c) Séance pour l'amélioration de la filière énergétique aérobie**

Un entraînement en fractionné avec des périodes de travail plus longues et des périodes de repos à peu près équivalentes à la moitié du temps de course, comme par exemple **6x4min|R2min**, favorise le système de transport de l'oxygène et améliore la capacité oxydative. La vitesse de course est plus lente par rapport à l'entraînement des processus anaérobies lactiques et d'intensité moindre à environ 60-80% de la FCmax. L'entraînement de la filière aérobie par la méthode d'exercice fractionné permet d'atteindre une intensité d'exercice plus élevée que lors d'une course continue simple.

Ainsi les interactions entre les différents métabolismes énergétiques varient avec le type de séance fractionnée réalisée permettant de cibler très spécifiquement l'amélioration d'une filière énergétique. Attention toujours à conserver la composante ludique de l'entraînement pour que le chien continue d'apprécier ce type d'exercice.

### **d) Le développement de la force musculaire par un exercice fractionné**

Le travail spécifique de la force musculaire de traction se fait par la traction lors des séances en continu mais il est aussi possible de réaliser des exercices fractionnés avec une force de traction élevée sur une période très courte avec des périodes de repos très réduites, ce qui évitera de mettre en jeu le métabolisme anaérobie lactique tout en travaillant la force musculaire. En pratique, on peut effectuer des séances en côtes pour augmenter la force de traction, ou bien réaliser des séances fractionnées de VTT ou de trotinette avec une alternance de portions roulantes et rapides et des portions de forte traction générée par un freinage ajusté du maître.

Pour résumer, le programme d'entraînement d'un chien de canicross doit comprendre (d'après Grandjean, 1991) :

- Le renforcement des tendons et des ligaments et le développement de la force musculaire par des activités très intenses (120 % de PMA, Puissance Maximale Aérobie) de très courte durée comme par exemple le fractionné rapide d'une durée inférieure à 30 secondes en traction forte.
  - L'amélioration de la puissance anaérobie par des séances fractionnées en effort supramaximal, à 100 % de PMA, avec ou sans traction, d'environ 1 minute et un repos modéré d'environ 1 minute.
  - L'amélioration de la puissance aérobie par des séances fractionnées d'intensité légèrement inférieure à la puissance maximale aérobie (environ 80-90 % de PMA) de 4 à 6 minutes avec un repos de 2-3 minutes.
  - Le travail de l'endurance par des périodes d'activité plus modérées (à 60-70 % de PMA) et en continu durant 45 minutes à 1 heure. Ou alors en fractionné avec une activité intense (70-80 % de PMA) de 8-10 minutes répétée 3 fois avec des périodes de repos de 3 à 5 minutes.
- Le tableau 1 résume les différents types de séances fractionnées réalisables selon l'objectif de travail, et le tableau 2 expose les objectifs, avantages et inconvénients des séances en continu et en fractionné.

	<b>Intensité de l'effort, % PMA</b>	<b>Durée de la phase intense</b>	<b>Repos</b>	<b>Répétitions</b>
<b>Renforcement des tendons et des ligaments, et développement de la masse musculaire.</b>	Très intense, 120 % PMA, en traction forte	< 30 secondes	2 minutes	10 – 15 fois
<b>Puissance aérobie</b>	80-90 % PMA	4 – 6 minutes	2-3 minutes	4-5 fois
<b>Puissance anaérobie</b>	100 % PMA	1 minute	1 minutes	10-12 fois
<b>Endurance</b>	70-80 % PMA	8-10 minutes	3-5 minutes	3 fois

*Tableau 1 : Résumé des différents types de séances fractionnées selon l'objectif de travail.*

	<b>Séance en continu</b>	<b>Séance fractionnée</b>
<b>Filière énergétique</b>	Aérobie ou mixte aérobie-anaérobie	Anaérobie, aérobie ou mixte.
<b>Force musculaire</b>	Possible avec un travail en traction	
<b>Endurance</b>	Possible d'augmenter les distances jusqu'à 15 km (maximum si l'objectif est un canicross de 4-8 km).	Possible tout de même en augmentant les répétitions ou la durée des phases d'effort.
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effort qui se rapproche de celui de la compétition</li> <li>- S'adapte à un plus grand nombre de chiens, du débutant au chien entraîné.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet d'augmenter l'intensité de l'effort</li> <li>- Variabilité des types de séances</li> <li>- Précision dans le travail spécifique des filières énergétiques.</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	L'intensité de l'effort peut être limitée	Tous les chiens ne peuvent pas supporter l'exercice en fractionné qui n'est pas adapté à certains tempéraments, ni à des chiens non entraînés.

*Tableau 2 : Objectifs, avantages et inconvénients des séances en continu et en fractionné.*

## **6) Environnement physique et performance sportive : température et altitude [16]**

L'environnement de travail doit être bien choisi. Selon la saison ou la météo on évite les périodes chaudes de la journée et les conditions météorologiques trop difficiles comme les fortes pluies et les vents violents. En été, les entraînements très tôt le matin ou nocturnes avec un bon éclairage peuvent être des solutions à la chaleur de la journée. De plus, l'idéal serait que le parcours comprenne des points d'eau pour abreuver les chiens, sinon il faudra prévoir de quoi les hydrater. Il est possible cependant de rechercher volontairement des conditions plus difficiles pour obtenir une acclimatation du chien à certaines conditions comme la chaleur ou l'altitude ou dans le but d'augmenter l'intensité de l'exercice.

L'entraînement en altitude peut être un moyen d'améliorer les performances des chiens. En effet, avec l'altitude, la fraction en dioxygène de l'air diminue et donc la pression partielle en oxygène inspirée est plus faible et favorise l'hypoxie. La ventilation pulmonaire augmente pour compenser la diminution d'oxygène de l'air. Au niveau du cœur, le myocarde est sensible à l'hypoxie et le débit cardiaque maximal baisse avec l'altitude. De même, l'hypoxie induit une augmentation de la fréquence cardiaque de repos.

Chez l'homme, à partir de 1600 m, à chaque fois qu'on augmente l'altitude de 100 m on diminue la  $VO_2$ max de 1 % environ. Si on considère qu'en altitude les valeurs de  $VO_2$  pour une même puissance ou vitesse de course ne changent pas par rapport à la plaine mais que la  $VO_2$ max diminue, cela signifie qu'en altitude cette même vitesse de course représente un plus haut pourcentage de la  $VO_2$ max et donc l'effort relatif va être plus difficile. L'entraînement en hypoxie dans ces conditions induit des adaptations physiologiques. On constate après 1 ou deux mois au niveau du sang une augmentation du nombre de globules rouges et de la concentration en hémoglobine. Après un temps d'adaptation encore plus long on peut voir des adaptations au niveau des muscles avec l'augmentation de la capillarisation, du taux de myoglobine, du nombre de mitochondries et une augmentation des enzymes oxydatives. Lorsque le sportif retourne s'entraîner en plaine, ces modifications sont réversibles assez rapidement en 2 à 4 semaines.

Une étude a montré, chez des chiens (en comparaison à des chiens vivant à 700 m d'altitude), que la vie en haute altitude à 2300 m combinée à des entraînements à 3500 m d'altitude entraîne des modifications cardio-vasculaires, avec une augmentation de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle systémique et pulmonaire, ainsi que des modifications de la fonction cardiaque [Glaus et al., 2003]. Des modifications humorales significatives ont aussi été observées avec une augmentation d'endothéline-1 (facteur de vasoconstriction), d'érythropoïétine et du facteur VEGF (Vascular Endothelial Growth factor), témoignant du stress hypoxique des chiens avec une altitude minimale de 2300 m. L'élévation de l'érythropoïétine n'était cependant pas suffisante pour générer une augmentation de l'hématocrite par érythrocytose (augmentation du nombre de globules rouges sanguins). [41]

Ainsi, l'altitude peut aider à provoquer une situation d'hypoxie lors d'un entraînement et à augmenter la difficulté de l'effort. Cependant, les modifications physiologiques pourraient être plus délétères que bénéfiques car les effets sur le cœur perturbent son fonctionnement par rapport à un effort en basse altitude et l'augmentation des pressions artérielles systolique et pulmonaire augmentent le risque d'hypertensions. De plus, les effets recherchés lors d'un entraînement en altitude, c'est-à-dire les adaptations avec l'hypoxie, peuvent tout aussi bien être retrouvés lors d'entraînements intensifs en basse altitude. L'altitude ne permet pas non plus de

provoquer une érythrocytose, et le chien est capable même à basse altitude d'augmenter son hématicrite grâce à la splénocontraction à l'effort. En pratique, pour un entraînement de canicross, l'altitude rend l'effort plus difficile, voire trop difficile pour un chien non entraîné et risque aussi de trop réduire la vitesse de course. Ainsi, il n'est pas conseillé d'introduire spécifiquement des entraînements en altitude dans le planning de préparation.

## **7) L'échauffement avant l'entraînement et la récupération post-entraînement**

Nous avons vu que les muscles et l'activité enzymatique fonctionnent plus efficacement lorsque la température corporelle augmente (en restant dans les valeurs usuelles) et également qu'une dette en oxygène se crée d'autant plus si un effort intense est commencé subitement. Un échauffement de l'organisme est donc bénéfique avant tout effort physique intense dans un but de performance mais surtout afin de prévenir les blessures telles que les déchirures musculaires. L'échauffement consiste à mettre en mouvement les muscles très progressivement pour faire monter la température corporelle et accroître la flexibilité articulaire, et dans un deuxième temps l'échauffement augmente la fréquence cardiaque, le débit cardiaque et le débit capillaire aux muscles. L'échauffement peut également permettre de canaliser le chien et d'éviter sa surexcitation, toujours néfaste, sur la ligne de départ (par perte d'énergie, déshydratation).

En pratique, sur une course de canicross, les chiens sont souvent dans leurs caisses de transport après parfois un long trajet ou tout simplement après la nuit car le départ de course est généralement tôt le matin. L'échauffement du chien de canicross commence donc par une promenade en laisse pour ses besoins hygiéniques et la mobilisation tranquille de ses muscles raidis par l'immobilité. Plus tard, environ une heure avant le départ de la compétition ou de l'entraînement programmé, une course lente et progressive sur environ 10-20 minutes permet au chien de se mettre en condition. Le chien peut être en liberté ou en traction au harnais, selon son tempérament. Un chien trop explosif en liberté aura tout intérêt à être tenu en laisse avant une course et notamment pour sa sécurité. Attention toutefois à ne pas trop en faire lors de l'échauffement au risque de faire baisser la motivation du chien à courir pendant la course. L'échauffement du chien doit se terminer au maximum 20 minutes avant le départ, ce qui laissera également au binôme le temps de se préparer, c'est-à-dire mettre le dossard s'il n'est pas encore mis, accrocher la puce pour le chronométrage au harnais du chien s'il y en a une, et aller jusqu'à la ligne de départ ou simplement partir sur la séance d'entraînement. En effet, l'échauffement est nécessaire en compétition mais aussi avant une séance d'entraînement intense.

La récupération post-course est tout aussi importante à respecter. Juste après l'effort, le chien peut avoir accumulé des déchets organiques, comme par exemple de l'acide lactique dans les muscles après un effort très intense par rapport à ce que le chien est habitué à réaliser et qui génère des courbatures. Après l'effort, il est aussi en polypnée thermique et a une fréquence cardiaque très élevée pouvant facilement dépasser les 280 battements par minute. Le « retour au calme » doit se faire tout aussi progressivement que l'échauffement. Tout d'abord, le chien a besoin d'une source de réhydratation pour compenser ses pertes hydriques si l'effort a été très intense, notamment dans des conditions de température élevée. Il existe des boissons de récupération appétentes contenant des électrolytes et favorisant la prise de boisson. Une étude menée sur des chiens de chasse a montré que les chiens ayant été hydratés avec des boissons

enrichies en électrolytes, comparés à d'autres hydratés avec de l'eau uniquement, avaient des marqueurs de lésion musculaire moins élevés et il semblait aussi que ces chiens parvenaient à maintenir des températures corporelles plus basses [42]. On observe d'autre part, chez les Alaskans parcourant de longues distances, une baisse des concentrations plasmatiques en sodium et potassium après la course mais il est peu probable que ces modifications soient remarquables sur de courtes distances comme celles parcourues en canicross puisque, contrairement à l'homme, le chien ne perd pas d'électrolytes par sudation [42] [38]. L'utilisation de boissons électrolytiques n'a donc pas ici pour but de rétablir un déséquilibre électrolytique généré par l'effort, mais elles peuvent, par leur composition en électrolytes, en vitamines et en glucides (*Maltodextrine, Chlore, Sodium, Potassium, Gluconate de Fer, Zinc, Cuivre, Manganèse, Sélénium, Iode, Vitamine E, Vitamine B1 etc.* [Element Vet]) aider la réhydratation et la reconstitution des réserves en glycogène du chien, et prévenir les lésions musculaires et les courbatures. Attention, les boissons de récupération issues du commerce pour les humains ne doivent pas être données aux chiens de sport, et la posologie des boissons adaptées aux chiens doit être strictement respectée, au risque si elles sont utilisées en excès d'engendrer une élimination des électrolytes par voie urinaire et entraîner paradoxalement une perte d'eau et une déshydratation.

Ensuite, il est bien de faire marcher le chien ou de le laisser en liberté afin qu'il retrouve une courbe respiratoire normale. S'il fait chaud, on veillera à faire diminuer sa température en le mettant à l'ombre et en le mouillant avec de l'eau fraîche en commençant par les pattes et les membres puis en remontant progressivement au pli de l'aîne et sous l'ars au niveau du passage des gros vaisseaux sanguins. Après un certain temps, on peut remonter le jet d'eau au-dessus de la ligne du dos mais il est recommandé de ne pas mouiller la nuque et la tête au risque de perturber la sensation de chaleur du chien et de limiter sa thermorégulation. On peut aussi s'aider de serviettes humidifiées à l'eau froide ou de poches de froid (packs réfrigérants) pour le rafraîchir. Le chien peut être mis au calme pendant une heure ou deux mais il faudra encore le ressortir pour détendre ses muscles et faire ses besoins. Pour compléter la récupération, des massages musculaires contribuent à détendre le chien et à prévenir les courbatures. Les massages ont aussi l'avantage d'évaluer les douleurs musculaires, les zones de chaleur ou les gonflements, et de faire penser à regarder les pattes des chiens à la recherche de lésions des coussinets ou des espaces interdigités. D'autre part, les étirements des groupes musculaires permettent de limiter les raideurs et les douleurs musculaires et de retrouver une bonne amplitude de mouvement articulaire. Ce sont des mouvements passifs qui doivent être réalisés sans forcer et sans douleurs [43]. Enfin, l'application de poches de froid sur les muscles ou l'immersion dans de l'eau froide (cryothérapie) a un effet vasoconstricteur qui peut permettre de limiter la diffusion de l'inflammation musculaire et les œdèmes et donc de favoriser la reconstitution des cellules musculaires lésées [59].

## **8) Alimentation et hydratation autour de l'entraînement** [36] [38]

L'hygiène de vie, la qualité du sommeil et l'alimentation doivent être intégrées à la préparation sportive. L'augmentation de l'activité du chien doit être accompagnée d'une alimentation plus riche qui apporte l'énergie nécessaire et qui compense les pertes induites par l'effort intense et répété.

Un bon programme nutritionnel doit :

- fournir une énergie de qualité optimale et en quantité adéquate
- minimiser le volume et le poids du bolus intestinal et avoir une bonne digestibilité
- produire le minimum de déchets
- contribuer à maintenir le chien bien hydraté
- prendre en compte l'état physiologique du chien
- et contribuer à prévenir les affections digestives liées au stress.

Le besoin énergétique journalier (BE) d'un chien au repos est calculé par la formule **BE (kcal) = 70 x PV<sup>0.75</sup>** avec PV le poids du chien en kilogramme. A cela s'ajoute les besoins énergétiques liés à l'activité physique qui peuvent varier aussi en fonction des individus, des entraînements (intensité, durée, avec ou sans traction, dénivelé etc.) et des conditions climatiques puisque la thermorégulation augmente les dépenses énergétiques. Au départ, on peut estimer qu'un chien de 20 kg brûle 600 kcal par heure d'entraînement et adapter ensuite les quantités en fonction des chiens et de leur entraînement. Ces chiffres sont des estimations par rapport à des chiens de traîneau en endurance, aucune étude n'a été réalisée sur des chiens en entraînement de canicross, l'important étant de savoir ajuster les quantités en fonction de la réponse du chien à son alimentation. La qualité de l'alimentation pendant la période d'entraînement s'estime par l'aspect des selles et par le bon suivi du poids du chien avec notamment l'observation de sa masse musculaire et de sa masse grasseuse. La note d'état corporelle est un moyen subjectif de suivre l'évolution de la condition physique par une note minimale de 1 pour un chien très maigre, jusqu'à une note maximale de 9 pour un chien obèse, la note d'état idéale étant située entre 4 et 5 sur 9. Elle s'estime par l'observation de la forme du chien en vue dorsale, selon que la taille soit visible ou non, par les reliefs osseux (côtes, lombaires, bassin), par la palpation de masse grasseuse sur les côtes et par la forme de l'abdomen vu de profil (abdomen maigre ou distendu) (Figure 38).

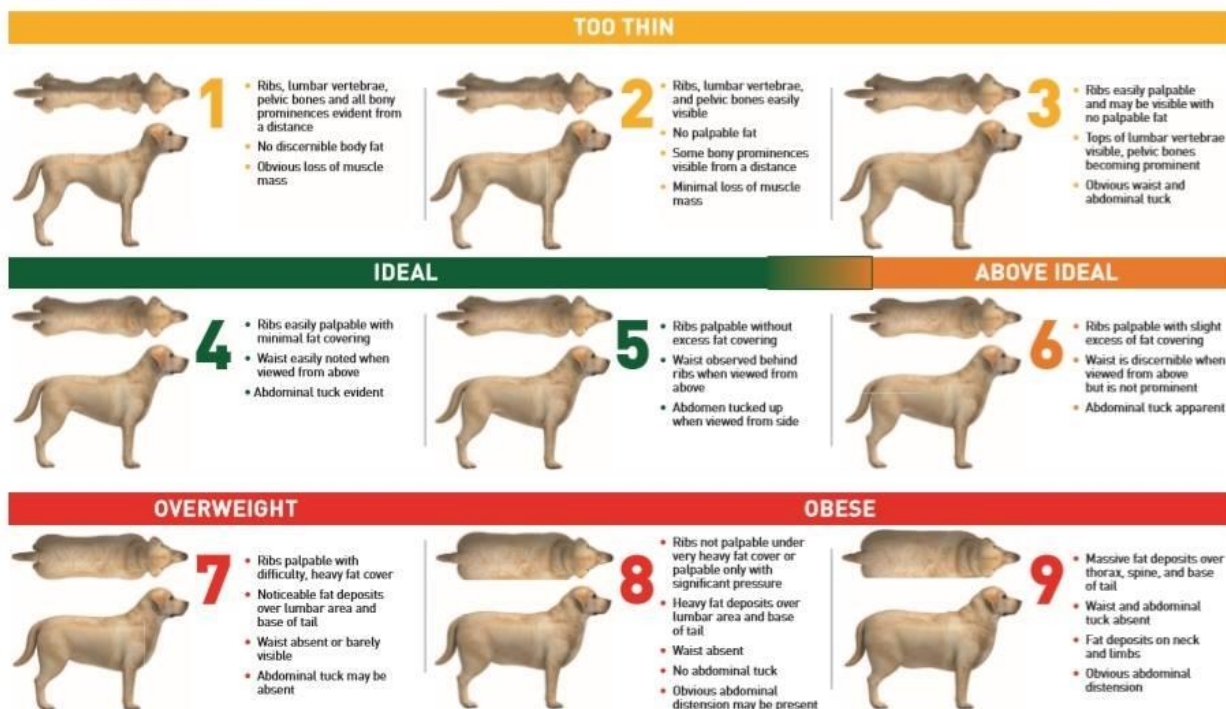


Figure 38 : Evaluation de la note d'état corporelle sur une échelle de 1 à 9. [Royal Canin]

A l'instar de l'augmentation des lipides et des glucides dans la ration pour subvenir aux besoins énergétiques, le taux de protéines doit aussi être revu à la hausse pour un chien réalisant un effort supérieur à 30 minutes. En effet, l'effort intense consomme des acides aminés glucoformateurs et le stress augmente le turn-over protéique pouvant induire à long terme des anémies chez les chiens sportifs. Dans ce cas, les compléments alimentaires peuvent être intéressants pour reconstituer les réserves en acides aminés plus rapidement et aider à la récupération. On peut citer la L-carnitine qui favorisera en plus l'utilisation des acides gras à longue chaîne.

Pour résumer, la ration journalière d'un chien de canicross doit contenir idéalement :

- Un rapport  $\omega 6/\omega 3$  environ égal à 5. Les  $\omega 3$  sont des acides gras polyinsaturés, essentiels qui ont un effet anti-inflammatoire et qui permettent d'augmenter la perméabilité membranaire en oxygène.
- Des protéines : minimum 26 % MS de l'aliment. Attention à éviter l'excès de protéines qui pourrait perturber le transit.
- Des lipides : minimum 18 % MS de l'aliment.
- Des glucides : L'amidon très cuit et les sucres simples sont une source d'énergie et la cellulose améliore la qualité du transit. La cellulose est cependant à ajuster en quantité car elle augmente la quantité de selles et la perte d'eau, pouvant générer des diarrhées d'effort.
- Le calcium : +/- supplémentation de 250-600 mg/kg/jour, nécessaire dans le cas d'une ration ménagère. La teneur en calcium de la ration est importante pour prévenir les tendinites et les fractures de fatigue.

Le rapport phosphocalcique doit être compris entre 1 et 2.



- +/- GAG : 500 mg/chien/jour. Les glucosaminoglycanes (glucides à chaînes complexes) sont des chondroprotecteurs qui peuvent être donnés afin de prévenir les ostéoarthrites et donc retarder l'apparition de l'arthrose chez les chiens de sport. Cependant, il n'y a encore aucune preuve scientifique de leur efficacité.
- +/- Vit E : 400-700 UI/kg (antioxydant)
- +/- Vit C : 320-350 UI/kg (antioxydant)
- +/- Lutéine, caséine (antioxydants)
- +/- extraits de levures. Elles stimulent l'immunité intestinale.
- +/- probiotiques, psyllium, pulpe de betterave pour augmenter la digestibilité de la ration.

Les vitamines antioxydantes sont importantes à ajouter à la ration d'un chien de sport afin de minimiser le stress oxydant lié à l'exercice. De plus, les besoins en antioxydants augmentent avec la teneur en acides gras insaturés de la ration, surtout pour un aliment qui va être conservé longtemps.

Attention, les aliments complets industriels contiennent déjà une quantité suffisante en vitamines et minéraux. Ainsi, ajouter des compléments minéraux et vitaminiques à ce type de ration induit un risque de surdosage. De plus, pour des chiens dont la ration a été augmentée pour couvrir les besoins énergétiques liés au sport, la quantité de minéraux de la ration devrait être calculée proche du minimum requis et n'a donc pas besoin d'être supplémentée.

La diarrhée, la déshydratation et le stress sont interdépendants et constituent un syndrome que l'on peut essayer de prévenir par l'alimentation. Il est alors possible de donner un aliment hyperdigestible, de fractionner les repas, et en cas de diarrhée d'administrer de l'argile comme de la smectite. L'aliment hyperdigestible peut contenir des fructo-oligo-saccharides et des fibres solubles présents par exemple dans la pulpe de betterave, des acides gras  $\omega 3$  et des probiotiques. Le psyllium aide à la prévention des diarrhées d'effort par sa composition en mucilage qui a pour propriétés d'absorber l'eau et de contribuer à la bonne formation des selles.

Le tableau suivant recense des aliments à intégrer à la ration pour ajuster l'apport en macronutriments et en vitamines et minéraux d'une ration.

<b>Glucides</b>	<b>Protéines</b>	<b>Lipides</b>	<b>Minéraux/vitamines</b>
<b>Amidons très cuits.</b>	Viandes maigres	Graisses de porc/volailles/poisson	Levures de bière
<b>Fibres solubles (Fructo-oligo Saccharides, psyllium)</b>	Poisson Poudre d'œuf Caséine dé lactosée Acides aminés	Huile de coprah, de coco (acides gras à chaînes courtes) Huile de soja, tournesol Huile de bourrache	Oligo-éléments chélatés (compléments alimentaires) Antioxydants : vit C, vit E, lutéine, taurine ...

*Tableau 3 : Apports principaux en macronutriments de quelques aliments [36]*

La qualité des protéines d'un aliment industriel est meilleure lorsque les protéines sont issues du vrai muscle plutôt que lorsqu'elles sont issues du collagène des sous-produits animaux (par exemple la gélatine). Cependant les étiquettes ne révèlent pas souvent les proportions réelles de l'origine des protéines, mais à titre d'indication, un rapport protéine/phosphore élevé, s'il est indiqué sur l'emballage, laisse supposer une qualité plus élevée des protéines. [37]

Pour la distribution des repas, on conseille de donner 2 repas par jour et lors d'un jour d'entraînement ou de compétition, de donner l'équivalent d' $\frac{1}{4}$  de ration 3h avant l'effort et le reste de la ration au minimum 1h après l'effort. Fractionner les repas permet de prévenir le syndrome dilatation-torsion de l'estomac en diminuant le volume du bolus alimentaire et cela permet aussi de diminuer le temps de vidange gastrique.

Pour un effort intense comme en canicross, 30 minutes avant l'effort, il est possible de donner une boisson d'hydratation contenant 0.3g/kg de glucides rapides (Maltodextrine), et d'en donner après l'effort à hauteur de 1.5g/kg pour la reconstitution des réserves.

## **9) Evolution de l'entraînement en fonction du temps et constitution d'un planning [18]**

L'entraînement du chien doit être rigoureusement suivi et contrôlé en volume et en intensité pour adapter la charge d'entraînement et respecter le principe de la charge d'entraînement croissante. L'augmentation de la charge d'entraînement se réalise en augmentant le volume, c'est-à-dire les distances et durées des séances hebdomadaires, et aussi en termes d'intensité, c'est-à-dire en vitesse, en force de traction ou en séances fractionnées. Le suivi de l'entraînement est primordial et passe en priorité par l'observation du chien à l'entraînement : s'il est réticent à fournir un effort, s'il baisse fortement d'intensité d'effort au court de la séance, la séance est trop intense à cet instant de la période d'entraînement et il faut absolument revoir la charge d'entraînement. Il est important de ne pas soumettre le chien à des efforts qu'il n'est pas capable de réaliser confortablement au risque de perdre un peu de son envie de courir. Au contraire, s'il paraît évident que l'entraînement n'a pas été assez intense, on pourra réajuster le programme d'entraînement pour s'assurer que la charge de travail soit supérieure à l'activité de base et que le chien continue de progresser.

Dans le cas du chien, il est possible d'accéder en l'espace de 4-5 semaines à une bonne adaptation à l'effort et à un niveau de performance qui se rapproche des réelles capacités du chien. Cependant, plus la période d'entraînement a été courte, plus le chien perd ce qu'il a acquis rapidement lorsqu'il cesse son activité physique. Afin de ne pas perdre les bénéfices de la période d'entraînement, il est nécessaire de maintenir un certain degré d'activité, même faible, entre les périodes d'entraînement pour ne pas perdre tout le bénéfice acquis. Il est donc judicieux de conserver un entraînement tout au long de l'année avec au moins une séance par semaine et l'arrêt total de l'entraînement est à éviter autant que possible, sauf en cas de blessure ou de grande fatigue.

La période d'entraînement peut se découper en cycles de 3 - 4 semaines entrecoupés de courses préparatoires. La succession des types de séances ainsi que la gestion des jours de repos pendant la semaine doivent être bien définies afin d'éviter toute surcharge qui amènerait à une accumulation de fatigue physique. Pour augmenter la charge d'entraînement pendant les premières semaines, les séances peuvent se faire en continu uniquement et sur des durées ou distances croissantes. La charge de travail peut être augmentée également en diminuant le repos entre les séances, par exemple en enchaînant 2 ou 3 jours d'entraînement consécutifs, ou bien en augmentant le nombre de séances en passant de 2 ou 3 séances par semaine à 4 à 5 séances par semaine. Le dénivelé des parcours peut aussi être augmenté en ajoutant des séances de travail en côtes. Ensuite, ce sont les séances fractionnées qui permettront d'augmenter encore la charge pour les chiens qui en sont capables et qui le tolèrent.

La semaine avant la course est une semaine très allégée en intensité avec uniquement des entraînements en course continue et les 2 jours précédant la course, le chien doit être au repos. Chez l'homme il est habituel d'effectuer la veille de la course un footing léger avec quelques accélérations progressives mais chez le chien, une sortie trop rapprochée de la course pourrait faire diminuer son envie de courir le jour J. Il est préférable de garder une certaine « frustration » pour la course.

## **10) Le surentraînement [18]**

L'observation du chien pendant son entraînement et le calibrage de la charge de travail sont très importants. Après chaque séance il faut évaluer la qualité de l'entraînement réellement effectué et réadapter le planning d'entraînement par rapport aux capacités du chien à ce moment précis du planning. Un planning d'entraînement n'est pas « figé » et il est susceptible d'être réajusté à tout moment. De plus, la récupération du chien doit être surveillée à chaque étape, et sa démarche bien analysée à la recherche d'une boiterie, d'une raideur ou d'une blessure. De même qu'on pourra déceler un surentraînement par des signes cliniques tels que des signes de fatigue, une fréquence cardiaque au repos plus élevée qu'à la normale, une qualité de sommeil altérée, une réticence à sortir, ou bien une baisse de progression du chien dans son entraînement. Selon une étude chez l'homme, le surentraînement génère un stress de l'organisme et une augmentation du taux de catécholamines après les séances difficiles. Cliniquement il en résulte une baisse de l'appétit et un sommeil de mauvaise qualité [16].

Pour prévenir le surentraînement chez le chien, les jours de repos doivent être planifiés tout autant que les séances d'entraînement. Il s'agit de poser ces jours stratégiquement, par exemple le lendemain des séances difficiles comme les entraînements spécifiques en fractionné ou après une sortie longue en endurance. Un jour de repos peut comprendre une sortie en libre ou une balade, c'est ce qu'on appelle de « la récupération active ». Elle permet au chien de se détendre, et de mobiliser doucement ses muscles et articulations contribuant à l'élimination des déchets métaboliques encore stockés dans les muscles responsables potentiellement de courbatures. Il est parfois préférable de remplacer une séance programmée par un jour de repos supplémentaire si on ressent que le chien en a besoin, au risque sinon de faire une séance contre-productive. Dès la constitution du planning d'entraînement, dans les phases d'entraînement intensif, il faudrait éviter de programmer 4 jours d'entraînement consécutifs, mais éviter également de dépasser 2 jours de repos consécutifs pour garantir la charge d'entraînement. De plus, il faudrait veiller à répartir 2 jours de repos pour chaque semaine même en période intensive pour prévenir le surentraînement.



# **PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE**

## **I) MATERIEL ET METHODES**

### **1) Animaux : Sélection des candidats aux tests et détails des chiens participant à l'étude**

Les chiens entraînés ont été sélectionnés auprès de propriétaires habitués des courses de canicross suite à un appel à candidatures *via* emails et sur les réseaux sociaux. Les critères de sélection étaient les suivants :

- Chien âgé entre 1 et 8 ans,
- Pesant entre 20 et 35kg avec un score corporel normal.
- Sportif et ayant suivi un protocole d'entraînement au canicross durant au moins les 3 semaines avant le test d'effort. Un modèle de plan d'entraînement leur a été distribué au préalable afin de s'assurer que les chiens aient un entraînement suffisant et comprenant des séances d'entraînements fractionnés. (Annexe 1)

Les chiens du groupe sédentaire devaient respecter les critères suivants :

- Chien âgé entre 1 et 8 ans,
- Pesant entre 20 et 35kg avec un score corporel normal.
- Ne pratiquant aucune activité pouvant s'apparenter à un entraînement physique.

Etaient exclus de l'étude, tout chien présentant une affection métabolique/maladie endocrinienne, affection cardio-vasculaire et respiratoire, boiterie/affection orthopédique, obésité ou une maladie neurologique.

Les chiens entraînés ont eu au moins 2 jours de repos avant leur test d'effort. Et pour tous les candidats, aucun n'a mangé dans les 3 heures précédant le test d'effort, l'hydratation étant maintenue, surtout en période chaude.

Un consentement éclairé est envoyé et signé par le propriétaire de chaque chien préalablement aux tests d'effort. (Voir annexe 2)

Chien	Race	Sexe	Poids (kg)	Age (ans)
<b>Groupe sportif</b>				
Askja	X groenlandais	F stérilisée	26	5
Nerka	X Braque	F stérilisée	28	6
Gypsie	Alaskan	F stérilisée	29	8
Jamie	X Podenco (typé braque)	M castré	28	4
Kanakin	X Braque	M castré	28	4
KJ	X Braque	F stérilisée	27	4
Kyana	X Braque	F stérilisée	26	4
Kiska	X Braque	F stérilisée	23	8
Helika	Alaskan	F stérilisée	20	7
Hopla	Alaskan	F stérilisée	21	7
Abys	X pointer/braque	M castré	23	7
Roméo	Eurohound	M castré	27	3,5
Spike	Eurohound	M entier	30	2
Nova	Eurohound	F stérilisée	26	2
Leader	Eurohound	M entier	26	3,5
<b>Groupe sédentaire</b>				
Kuro	Xbeauceron / Labrador	M castré	34	2
Hyago	Golden retriever	M castré	40 (NEC 4/5)	6
Ataxie	Braque de Weimar	F stérilisée	28	6
Jango	Braque allemand	M castré	23	4,5
Mynavy	Braque de weimar à poils longs	M entier	30	3
Cayak	X berger des pyrénées	M entier	26	7,5
Jazz	X border collie	M castré	20	5
June	Dalmatien	F stérilisée	24 (NEC 3,5/5)	5
Okun	Akita inu	M entier	34	1
Mooky	X malinois	M castré	32	2,5

*Tableau 4 : Présentation des chiens participants à l'étude.*

X : chien de race croisées, M : mâle, F : femelle, NEC : note d'état corporel.

<b>Chien sportif</b>	<b>Marque de croquettes</b>	<b>Constituants analytiques</b>
<b>Abys</b>	Josera active	Protéine 28 % ; Lipides 16 % ; ENA 56 % ; Cellulose 2 % ; Cendres 7.8 %
<b>Helika</b>	Josera active	
<b>Hopla</b>	Josera active	
<b>Gypsie</b>	Josera active	
<b>Askja</b>	Royal canin 4800	Protéines 32 % ; Lipides 30 % ; ENA 38% ; Cellulose 2 % ; Cendres 8.3 %
<b>Jamie</b>	Croquettes Belcando adulte active	Protéines 25 % ; Lipides 14.5% ; ENA 60.5% ; Cellulose 3.2 % ; Cendres 7 %
<b>Kanakin</b>		(*)
<b>Kiska</b>	BARF (Viande de bœuf, carcasse de poulet, cou de poulet et de dinde, parfois abas, œufs et sardines)	
<b>KJ</b>		
<b>Kyana</b>		
<b>Nerka</b>		
<b>Nerka</b>	Croquettes Wolfod chicken and rice	Protéines 38 % ; Lipides 18% ; ENA 44 % ; Cellulose 2.7 % ; Cendres 6 %
<b>Roméo</b>	Royal Canin 4300	Protéines 28 % ; Lipides 21 % ; ENA 51% ; Cellulose 2.6 % ; Cendres 7.9 %
<b>Spike</b>		
<b>Nova</b>		
<b>Leader</b>		
<b>Groupe sédentaire</b>		
<b>Kuro</b>	50 % Royal Canin maxi sterilised	Protéines 28 % ; Lipides 13 % ; ENA 59% ; Cellulose 6.7 % ; Cendres 5.8 %
<b>Hyago</b>	Royal Canin Dermacomfort	Protéines 25% ; Lipides 17 % ; ENA 58 % ; Cellulose 1.6 % ; Cendres 5.9 %
<b>Ataxie</b>	Hill's i/d	Protéines 25.8 % ; Lipides 14.5 % ; ENA 59.7 % ; Cellulose 1.4 % ; Cendres 6.8 %
<b>Jango</b>	Hill's mobility	Protéines 23.1 % ; Lipides 16.6 % ; ENA 60.3 % ; Cellulose 2.2 % ; Cendres 4.5 %
<b>Mynavy</b>	Ownat	Protéines 40 % ; Lipides 20 % ; ENA 40% ; Cellulose 3 % ; Cendres 9 %
<b>Cayak</b>	Belcando diner	Protéines 23 % ; Lipides 10.5 % ; ENA 66.5 % ; Cellulose 3.4 % ; Cendres 7 %
<b>Jazz</b>	Josera active	Protéine 28 % ; Lipides 16 % ; ENA 56 % ; Cellulose 2 % ; Cendres 7.8 %
<b>June</b>	Ownat	Protéines 40 % ; Lipides 20 % ; ENA 40% ; Cellulose 3 % ; Cendres 9 %
<b>Okun</b>	Optimus complete puppy, et viandes et abats 1 jour sur 2	Protéines 31 % ; Lipides 18 % ; ENA 51% ; Cellulose 1.2 % ; Cendres 6.5 % (sans la viande et les abats)
<b>Mooky</b>	Royal Canin maxi stérilised	Protéines 28 % ; Lipides 13 % ; ENA 59% ; Cellulose 6.7 % ; Cendres 5.8 %

*Tableau 5 : Alimentation des chiens de l'étude et constitution analytiques*

*ENA : énergie non azotée (Glucides), Cendres : Minéraux.*

Le tableau 5 indique l'alimentation des chiens du groupe entraîné dans le but de réaliser une brève analyse de l'influence de l'alimentation sur leurs performances lors du test d'effort. On remarque que 4 chiens sont nourris avec une alimentation BARF composée de viande crue, carcasse, œuf et sardines et 7 chiens sont nourris avec un aliment sec et complet adapté aux chiens sportifs. L'alimentation des chiens sédentaire y est également décrite et apparaît être de bonne qualité.

(\*) La ration BARF (Bones And Raw Food) est composée de protéines animales crues, dans ce cas précis de viandes, œufs, poissons et abats. La constitution analytique de la ration BARF est d'environ 50 % de protéines et 50 % de lipides et varie en fonction des proportions des types de viande, poissons et œuf. Dans tous les cas et sans rééquilibrage par un complément minéral, le rapport phosphocalcique de cette ration est beaucoup trop bas. L'entorse au principe de l'alimentation BARF par ajout de riz cuit comme le fait parfois Mélanie Vermot pour Kanakin, Kiska, KJ et Kyana permet de ramener la constitution analytique à environ 42 % de protéines, 43 % de lipides et 15 % d'énergie non azotée.

## **2) Matériel pour la réalisation des tests d'effort**

### **a) Tapis roulant**

Les tests d'effort se réalisent sur un tapis de course disposé dans une salle climatisée à 18°C (Figure 39). Le tapis (S 2500, Techmachine, Andrézieux-Bouthéon, France) est développé spécialement pour pouvoir être utilisé par différentes espèces (chiens, porcs, petits ruminants etc.). D'une longueur de 3 m et d'une largeur de 50 cm, il est muni de plaques latérales de contention en plexiglas ainsi que d'une potence qui permettent de maintenir les animaux en position sur le tapis. La pente peut être accrue, par paliers de 1 %, de 0 à 25 %. La vitesse peut varier de 0 à 30 km/h par paliers de 0,1 km/h.

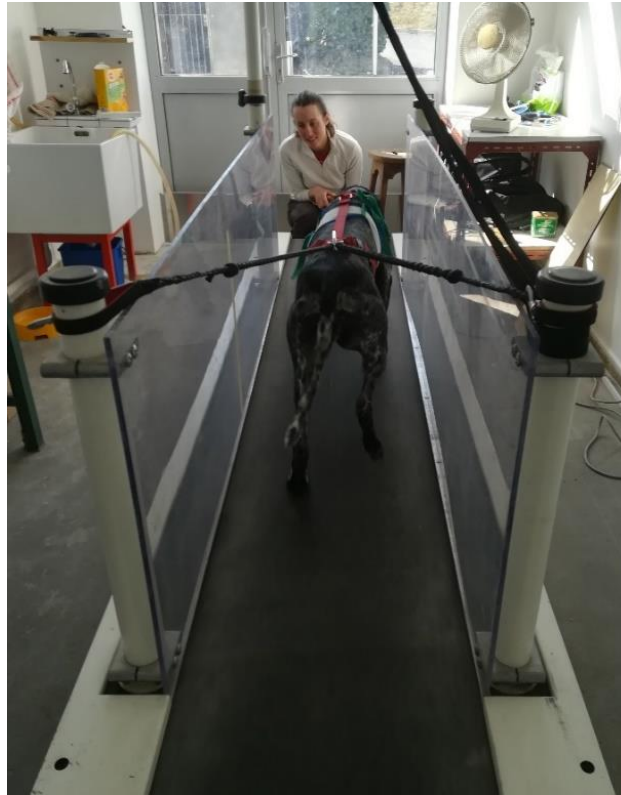


*Figure 39 : Le tapis roulant grande vitesse dans la salle climatisée.*



## **b) Matériel de canicross**

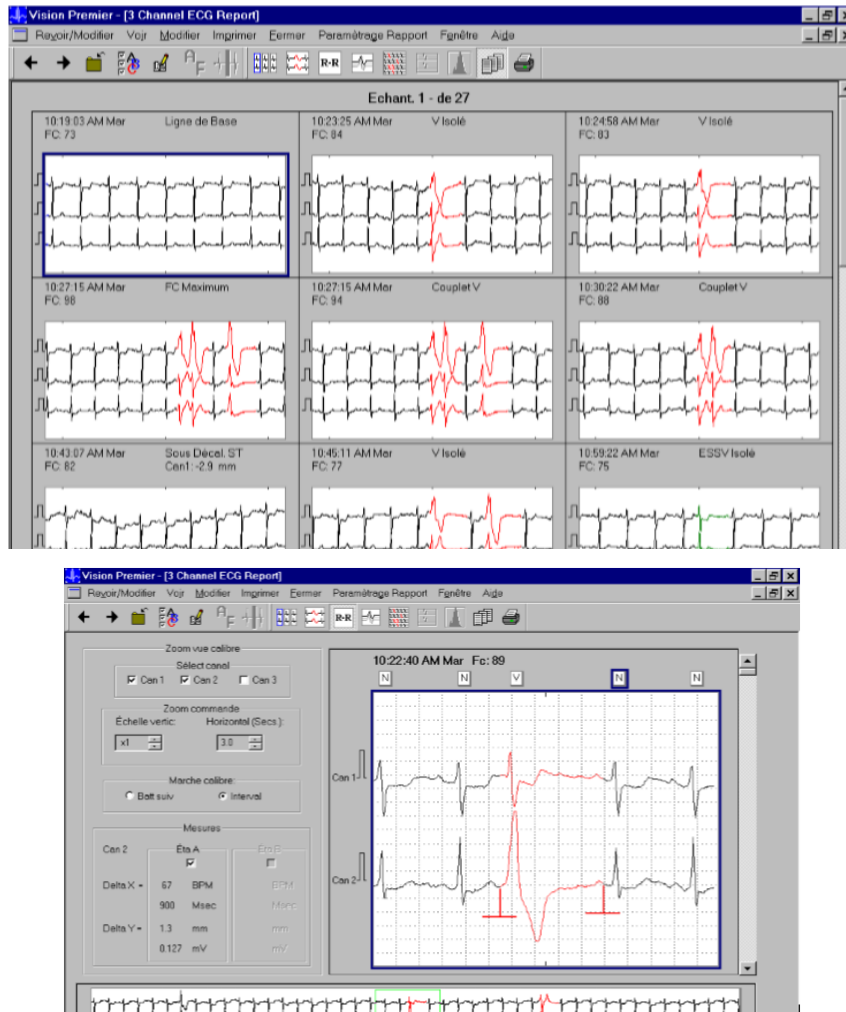
Du matériel de canicross est utilisé pour maintenir le chien à l'effort sur le tapis : ligne de trait, harnais de canicross. La ligne de trait est attachée au harnais du chien puis fixée de part et d'autre du tapis en arrière du chien comme sur la figure 40.



*Figure 40 : Système d'attache du chien au tapis roulant par son harnais de traction et une ligne de trait élastique.*

## **c) Holter ECG**

La fréquence cardiaque au cours de l'effort est recueillie grâce à des électrodes SKINTACT® 26mm disposées au contact de la peau du chien et reliées à un Holter ECG (Burdick® 5L). Les tracés ECG sont analysés sur ordinateur avec le logiciel Vision Serie Holter System® (Figure 41).



*Figure 41 : Tracés ECG sur le logiciel Vision Serie Holter System.*

### **3) Protocole expérimental**

Ce protocole a été étudié et validé par le comité d'éthique du campus vétérinaire de VetAgro Sup avant sa mise en pratique.

Le chien arrive avec son propriétaire qui lui montre une première fois le tapis à l'arrêt et le fait monter plusieurs fois dessus pour commencer l'habitué. Si besoin, le maître peut avoir recours à des friandises mises à disposition pour un renforcement positif de la marche sur le tapis. Le chien est ensuite tondu à l'emplacement exact où seront placées les électrodes du Holter ECG :

- Rouge : hémithorax gauche, entre les 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> espaces intercostaux, au niveau de la jonction costo-chondrale (pointe du coude à gauche)
- Blanche : hémithorax droit, entre les 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> espaces intercostaux, au niveau de la jonction costo-chondrale (pointe du coude à droite)
- Bleue : dorsalement au 5<sup>ème</sup> à 6<sup>ème</sup> espace intercostal, à gauche du rachis
- Verte : hémithorax gauche, entre les 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> espaces intercostaux (caudalement à l'électrode rouge)
- Orange : ventrale au 5<sup>ème</sup> à 6<sup>ème</sup> espace intercostal, au niveau du sternum
- Noire : appendice xiphoïde
- Marron : manubrium sternal

La peau est dégraissée à l'aide d'une compresse alcoolisée puis lorsque la peau est sèche, les électrodes sont soigneusement collées (Figure 42).

Ensuite, la carte mémoire, permettant l'acquisition et la sauvegarde des données, doit être initialisée et identifiée avec le nom du chien et de son propriétaire directement sur le logiciel de l'ordinateur. Puis, cette carte est remise dans le boîtier du Holter et ce n'est qu'après cette manœuvre qu'une pile électrique de type AAA peut être insérée dans le boîtier. Le Holter est ensuite branché aux électrodes du chien selon le respect de l'emplacement des couleurs.

Les électrodes au niveau du cœur et du manubrium sternal sont ensuite maintenues en place à l'aide d'un bandage de Vet Trap® autoadhésif et de Tensoplast® (Figure 43). Le harnais de traction du chien est ensuite mis en place sur l'animal et deux lacettes permettent d'attacher le harnais du chien au bandage de Vet Trap pour éviter que ce dernier ne se déplace caudalement. Le boîtier du Holter est fixé au collier du chien (Figure 44).



*Figure 42 : Mise en place des électrodes au niveau du cœur à gauche du chien.*



*Figure 43 : Bande de contention autoadhésive et de Tensoplast® maintenant les électrodes en place.*



*Figure 44 : Fixation du Holter ECG sur le harnais et le collier du chien.*

Préalablement au test d'effort, la température rectale est relevée et un prélèvement sanguin de 3 à 5 mL est réalisé à une veine jugulaire à l'aide d'une aiguille bleue 23G afin de mesurer immédiatement la lactatémie, grâce au lactomètre, et l'hématocrite. Le reste du sang est réparti dans deux tubes Héparinés, le premier conservé à +4°C pour la mesure ultérieure de la fluidité membranaire érythrocytaire par résonance paramagnétique électronique (RPE), et le deuxième tube est centrifugé à 5000 tours pendant 10 min, le plasma est ensuite prélevé et conservé à -20°C pour la mesure ultérieure des paramètres biochimiques retenus (voir paragraphe 4) ci-après).

Pour les chiens du groupe entraîné, le chien monte sur le tapis et son harnais de traction est attaché à une ligne de trait élastique fixée aux piliers arrière du tapis (Figure 40).

Le tapis démarre tout d'abord à très petite vitesse (<2km/h) pour une habitude. Dès lors que le chien est à l'aise à une allure, la vitesse est progressivement augmentée à 4km/h puis à 7.5 km/h, qui est la vitesse d'échauffement et qui marque le départ du test d'effort. La vitesse est alors maintenue pendant 5 minutes. Le test d'effort est constitué de paliers successifs sans pauses entre ces différents paliers :

- Echauffement à 7.5 km/h (pente 0 %), 5 min
- V = 11km/h, durée 5 min
- V = 14 km/h, durée 5 min
- V = 14 km/h, pente 10 %, durée 5 min
- V = 17 km/h, pente 10 %, durée 5 min (si possible ...)
- V = 17 km/h, pente 15 %

A partir de 5 minutes après le passage à une vitesse de 14km/h, la pente du tapis commence à être augmentée à 10 % puis elle sera augmentée encore à 15 % 5 minutes après le passage à 17 km/h. Le dernier palier à 17km/h et 15 % de pente est maintenu si possible pendant 5 minutes pour la réussite du test dans son intégralité. La durée totale d'un test réussi jusqu'au dernier pallié est de 30 minutes.

L'exercice est arrêté lorsque le chien montre des signes de fatigue comme des signes d'intolérance à l'effort (arrêt de traction au harnais, refus de courir, recul excessif sur le tapis etc.), ou une augmentation importante et soudaine de la fréquence respiratoire.

Pour les chiens de la catégorie sédentaire et non habitués au canicross, l'attache avec le harnais pour la traction n'était souvent pas possible. Puis le test d'effort s'est réalisé selon le même principe de paliers de 5 minutes mais en démarrant la course sur le tapis à des vitesses plus faibles et en augmentant encore plus progressivement la vitesse. La durée finale du test d'effort n'excédait pas non plus les 30 minutes d'effort.

Un prélèvement de sang à la veine jugulaire est immédiatement réalisé après l'arrêt du test d'effort et la lactatémie ainsi que l'hématocrite sont mesurées. Le reste du sang est réparti dans des tubes Héparinés conservés comme précédemment pour les analyses de RPE et de biochimie. La température rectale est également mesurée.

Le propriétaire fait marcher son chien alors que le Holter est maintenu en place pour l'enregistrement de la récupération jusqu'à ce que la fréquence cardiaque diminue et avoisine celle mesurée avant l'épreuve, c'est-à-dire une récupération d'une durée allant de 5 à 15 minutes après la fin du test d'effort. Ensuite, les électrodes sont décollées et la carte mémoire et la pile peuvent successivement être retirées. Le logiciel Vision Serie Holter System peut acquérir les données de la carte et afficher les tracés ECG. Sur les tracés ECG sont déterminées la fréquence cardiaque maximale, la fréquence cardiaque de repos, ainsi que le temps de récupération après l'effort nécessaire pour retrouver une fréquence cardiaque avoisinant celle de repos.

#### **4) Techniques et méthodes analytiques**

##### **a) La lactatémie**

La lactatémie est mesurée à l'aide du lecteur Accutrend Plus® de la marque Cobas® (Figure 45) par photométrie de réflectance à l'aide de bandelettes réactives spécifiques pour le lactate.



*Figure 45 : Lecteur Accutrend Plus® et bandelettes pour la mesure de la lactatémie. [Praxisdienst.fr URL : <https://www.praxisdienst.fr/fr/Medical/Articles+de+labo/Tests/Bandelettes+et+solutions+de+controle/Bandelettes+de+test+Accutrend+pour+controle+du+lactate.html> Consulté le 11/09/2020].*

Il suffit de mettre l'appareil sous tension, d'insérer la bandelette, dans la glissière puis de soulever le compartiment de la chambre de mesure. Puis dans les 15 secondes, déposer une goutte de sang sur le champ de mesure jaune, refermer la chambre de mesure et attendre l'affichage des résultats. Si le résultat affiché indique « Lo », cela signifie que la valeur de la mesure est inférieure au seuil de détection de l'appareil, c'est-à-dire 0.8nmol/L pour le lactate. [Manuel opérateur Accutrend Plus®, v 01, 05-2013]

## **b) L'hématocrite**

Pour la mesure de l'hématocrite, un tube capillaire (diamètre 1.5 mm, longueur 75 mm ; Figure 47) est rempli de sang total par capillarité et bouché à son extrémité à l'aide d'un peu de cire molle sur environ 2 mm (Figure 48). L'échantillon est ensuite placé dans une centrifugeuse à micro-hématocrite (Figure 46) dans les rainures du plateau avec le côté bouché par la cire tourné vers la périphérie. Un second tube capillaire est disposé en face du premier afin d'équilibrer le plateau, puis le couvercle du plateau est vissé avant de fermer la centrifugeuse (Figure 49). Les tubes sont centrifugés pendant 10 minutes à 3000 tours.

Le résultat est lu à l'aide d'une réglette spéciale hématocrite (Figure 50) en positionnant le tube centrifugé sur la réglette, en ajustant le bas du culot globulaire sur la ligne du zéro et le haut du plasma sur la ligne 100. La ligne correspondant au haut du culot globulaire est le résultat du pourcentage d'hématocrite.



*Figure 46 : Centrifugeuse à micro-hématocrite Haemofuge Heraeus®.*



*Figure 47 : Tubes capillaires*

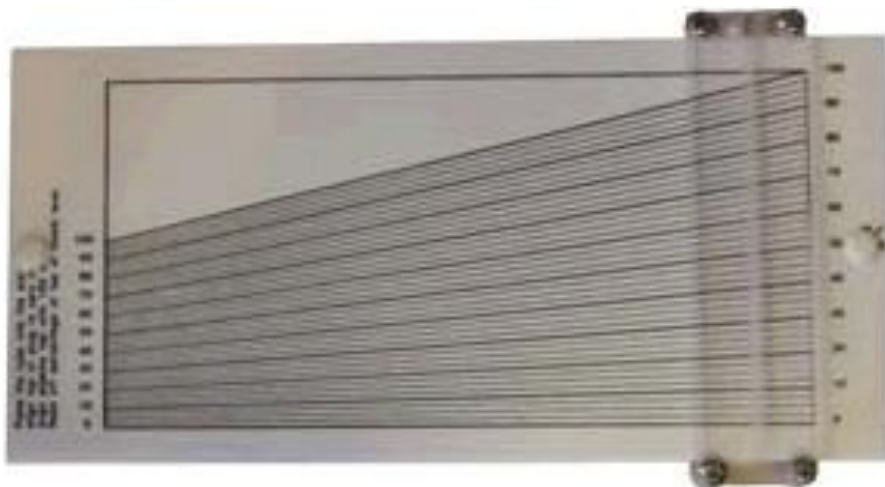
[Site Fischer Scientific, URL : <https://www.fishersci.fr/shop/products/haematocrit-sealing-compound/10758704>]



*Figure 48 : Pâte à sceller (cire).*



*Figure 49 : Plateau et couvercle de centrifugeuse à micro-hématocrite. [Site Fischer Scientific]*



*Figure 50 : Régllette de lecture du résultat de l'hématocrite.*

[Site Novolab, URL : <https://www.novolab.eu/hematocriet-centrifuge-c1015-met-rotor-en-reader.html>]

### **c) Les paramètres biochimiques**

Les analyses biochimiques sont réalisées au laboratoire d'analyse du campus vétérinaire de VetAgro Sup qui utilise l'appareil de mesure Konélab 20® (Figure 51) par une méthode de spectrophotométrie. Ainsi sont mesurés pour chaque échantillon : hémocrite, glucose, protéines totales, albumine, ASAT, ALAT, CK, LDH, CRP, Créatinine, PAL, Na, K, Cl, Ca.



*Figure 51 : Appareil de mesure biochimique Konélab 20® [Thermoscientific, Part of Thermo Fisher Scientific, URL : [http://www.thermo.com.cn/resources/200802/productpdf\\_27379.pdf](http://www.thermo.com.cn/resources/200802/productpdf_27379.pdf) Consulté le 11/09/2020]*

### **d) Analyses statistiques**

Les résultats paramétriques de la partie expérimentale sont soumis à des tests statistiques réalisés avec le logiciel R Studio® afin d'en déterminer la valeur statistique.

- **Test de Student**

Le test de Student est un test de comparaison de deux moyennes observées sur séries indépendantes avec des variances différentes (Test de Welch). On l'utilise par exemple pour étudier la différence des valeurs (avant ou après l'effort) entre les sédentaires et les sportifs aux deux temps de l'expérimentation, c'est-à-dire soit avant le test d'effort, soit après. Ou alors pour étudier la variation des valeurs de FC de repos ou FCmax entre les chiens sédentaires et sportifs. Pour cela on vérifie tout d'abord si les variances sont égales ou différentes, ainsi que la normalité de la distribution. Si ces hypothèses ne sont pas vérifiables, on aura recours à des tests non paramétriques comme le test « U » de Mann et Whitney ou W de Wilcoxon.

*Exemple de code avec le logiciel R Studio® sur les glycémies avant effort :*

*Le document contenant les valeurs de glycémie est nommé Glyav, et spo indique les valeurs des sportifs et sed les valeurs des sédentaires. Spo et sed sont l' « Etat » des chiens.*

```
d<-read.table('Glyav.txt', header=TRUE)
> d.spo<-subset(d,Etat=="spo")
> d.sed<-subset(d,Etat=="sed")
> var.test(d$Glyav~d$Etat)
```



(Réponse) F test to compare two variances

data: d\$Glyav by d\$Etat

F = 1.3839, num df = 7, denom df = 14, p-value = 0.5717

alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1 (*Autrement dit, les variances ne sont pas égales*)

95 percent confidence interval: (*Puis le logiciel nous donne un intervalle de confiance et un ratio des variances*)

0.4094345 6.3603569

sample estimates:

ratio of variances

1.383861

> **t.test(d\$Glyav~d\$Etat, paired=FALSE, var.equal=FALSE)**

Welch Two Sample t-test

data: d\$Glyav by d\$Etat

t = -2.3546, df = 12.506, **p-value = 0.03563** (*Ici la p value est inférieure à 0.05, donc le résultat est significatif*)

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

**95 percent confidence interval:**

**-1.20581672 -0.04944994**

sample estimates:

mean in group sed mean in group spo (*Le logiciel nous donne les moyennes de chaque groupe*)

5.454500 6.082133

Si la valeur p est inférieure à 0.05, on peut conclure à des résultats significativement différents. Pour l'exemple de la glycémie avant l'effort, on en conclut que les moyennes sont significativement différentes et que les chiens sédentaires avant l'effort ont globalement une glycémie inférieure à celle des chiens sportifs.

- **Test « T » de Wilcoxon**

Le test des rangs signés de Wilcoxon est un test effectué sur 2 séries appariées d'observations et permet de vérifier si une variation entre les deux séries est significative. Le logiciel fournit pour les résultats étudiés une valeur de variance et une valeur p qui doit également être inférieure à 0.05 pour pouvoir conclure à une variation significative des résultats. Par exemple pour un paramètre comme les lactates, la première série est composée des valeurs avant le test d'effort et la seconde série des valeurs après le test d'effort.

Exemple de code avec le logiciel R Studio® sur les lactates :

```
> d1<-read.table("lactates.txt",header=TRUE)
```

```
> wilcox.test(d1$Lactates1,d1$lactates2,paired=TRUE)
```

Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data: d1\$Lactates1 and d1\$lactates2

**V = 24.5, p-value = 0.0002143**

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Dans cet exemple, la valeur de p est inférieure à 0.05 donc on peut conclure qu'il y a une variation significative des lactates entre les deux temps de l'expérimentation et donc que les lactates ont augmenté significativement entre avant et après le test d'effort.

## **5) Mesure de la dynamique lipidique membranaire érythrocytaire par RPE : [31] [32]**

La RPE, méthode de spectroscopie, est la méthode retenue dans notre étude pour évaluer la dynamique lipidique membranaire des érythrocytes des chiens avant et après le test d'effort.

### **a) Technique de marquage des membranes érythrocytaires :**

Afin de mesurer la fluidité membranaire, des sondes sont incorporées à la membrane des érythrocytes des globules rouges :

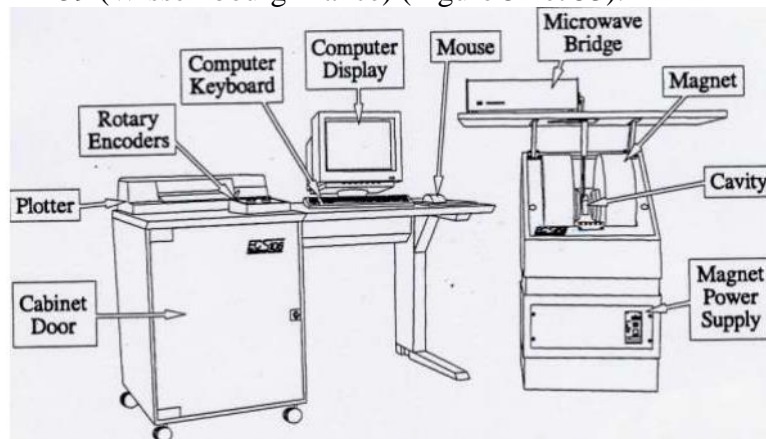
- La sonde 16-NS, comportant un radical nitroxyde sur son carbone 16, s'insère près du centre de la bicouche lipidique, ce qui permet de mesurer la fluidité membranaire de la région hydrophobe de la membrane des érythrocytes. On explore ainsi la **dynamique de la membrane**.
- La sonde 5-NS, comportant un radical nitroxyde sur son carbone 5, s'insère proche des têtes des phospholipides, au niveau de la région hydrophile de la membrane des érythrocytes. Elle permet de mesurer le **degré d'ordre**.

Les étapes du protocole expérimental de préparation de l'échantillon de sang avec les sondes sont décrites ci-dessous :

- Centrifugation du sang total sur Héparinate de Lithium à 3500t/min.
- Aspiration du plasma et du manteau leucocytaire.
- Lavage des érythrocytes avec du tampon PBS (pH 7,4 0,2M) trois fois.
- Dilution au 1/2 de 100 µl du culot globulaire dans 100 µl de tampon PBS.
- Ajout de 2µl de la solution de 16-NS ou de 5-NS (0,01 mol/L dans du diméthylsulfoxyde).
- Aspiration par capillarité dans 2 tubes capillaires en quartz Vitrex de 20 µl chacun.
- On place les deux tubes échantillons dans un tube de quartz introduit dans la cavité résonante du spectromètre de RPE.

## **b) Réglages du spectromètre de RPE :**

Nous avons utilisé un **Spectromètre BRUKER ECS 106®** possédant une cavité résonante de type Tmh 259 (Wissembourg France) (Figure 52 et 53).



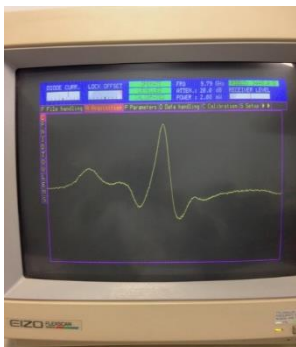
*Figure 52 : Schéma du spectromètre et de l'installation pour la lecture des spectres de RPE.*



*Figure 53 : Photo du spectromètre et du plan de travail pour la lecture des spectres de RPE.*

Les réglages du spectromètre préalablement à la réalisation des spectres sont décrits ci-dessous :

- Champ magnétique : balayage de 3430 à 3560 Gauss en 60s.
- Fréquence de l'onde irradiatrice : 9,56 GHz.
- Puissance de l'onde : 2mW.
- Modulation d'amplitude : 2,87 Gauss.
- Gain :  $2 \cdot 10^5$ .
- Nombres de spectres accumulés par échantillon : 3.
- Lecture des spectres sur l'écran de l'ordinateur (Figure 54).



*Figure 54 : Photo de l'écran d'ordinateur affichant un spectre de RPE avec une sonde 5-NS.*



## **II) RESULTATS DES TESTS D'EFFORT**

### **1) Etude descriptive :**

#### **a) Performances au test d'effort :**

*(Voir Annexe 3 : Résultats des tests d'effort.*

*Annexe 4 : Tracés ECG des sportifs.*

*Annexe 5 : Tracés ECG des sédentaires.)*

Les chiens sportifs sont disciplinés et habitués à fournir un effort de traction. Ils courent donc pour la plupart en traction sur le tapis de course. Alors que les chiens sédentaires rencontrent quelques problèmes de motivation et ne savent pas tracter la plupart du temps. A l'exception de Mynavy, Cayak et Jazz, habitués au harnais de traction qui ont fourni un effort en traction pendant le test.

Tous les chiens sportifs ont atteint le pallier d'effort à 17km/h en maintenant une traction pendant la majorité du test d'effort. La traction est maximale au début du test et décroît au cours du test d'effort.

Seuls les chiens sportifs atteignent une vitesse suffisante pour passer à une allure de galop correspondant aux paliers à 14 km/h ou 17km/h. Les chiens sédentaires ne sont pas parvenus à courir au-delà d'une vitesse de 15 km/h et la majorité des chiens de ce groupe ont atteint un effort maximal à un dernier palier de 10-11km/h.

Les chiens sédentaires sont incapables de réaliser le test d'effort selon le même protocole de paliers. Le premier palier étant déjà trop rapide pour eux pour commencer le test, il a été nécessaire d'adapter les paliers au cas par cas.

L'objectif du test d'effort est de réaliser un effort d'une durée à peu près équivalente à celle d'un canicross, c'est-à-dire comprise entre 20 et 30 minutes. Certains chiens sédentaires n'ont pas été en mesure de maintenir un effort aussi longtemps que souhaité malgré un test tout aussi progressif par paliers comme les chiens de l'autre groupe : Kuro : 16 min 26 sec ; Hyago : 11 min ; Jango : 17 min ; Okun : 16 min.

Kuro et Mooky du groupe des chiens sédentaires ont effectué des tests d'effort moins concluant selon l'expérimentateur par rapport aux autres chiens. En effet, Kuro n'a pas été capable de mener son test jusqu'à un effort assez intense pour pouvoir le qualifier de maximal, et le test d'effort de Mooky a été interrompu 2 fois par des refus de courir du chien et des arrêts d'urgence avant de décider d'arrêter totalement l'épreuve d'effort. Leurs données ont donc été retirées des résultats dans la suite de l'analyse afin de ne pas fausser l'interprétation.

On ne note pas de différence entre les chiens ayant effectué un travail en fractionné par rapport à ceux ayant fait des efforts continus durant leur période d'entraînement.

On ne note pas non plus de différence entre les chiens stérilisés/castrés par rapport aux chiens entiers et ni de différence entre les mâles et les femelles.

D'un point de vue alimentaire, les chiens nourris au BARF, c'est-à-dire ayant une alimentation constituée de viande crue et d'abats en grande majorité (complétée parfois avec un peu de riz cuit ou de légumes en hiver dans ce cas-ci) parviennent à un niveau de performance similaire aux autres chiens nourris avec un aliment sec complet (de type croquettes pour chiens actifs).

## **b) Paramètres cardiaques**

- **Fréquence cardiaque de repos**

La fréquence cardiaque de repos est mesurée soit à la maison par le propriétaire lorsque cela était possible, soit évaluée par détermination de la fréquence cardiaque minimale sur l'enregistrement du Holter avant le début du test d'effort. En effet, le Holter était laissé en place plusieurs minutes avant le début de l'épreuve afin de recueillir les données de repos et de vérifier également l'absence d'anomalie à l'ECG qui aurait contrindiqué la réalisation d'un effort maximal.

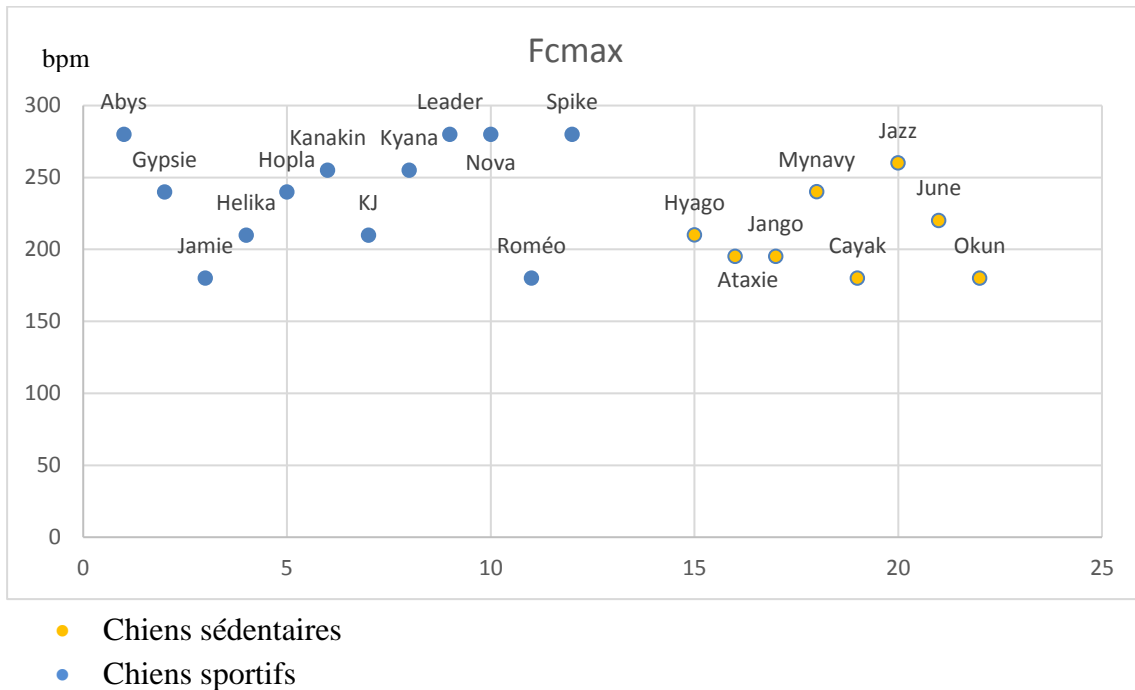
<b>Chiens sportifs</b>	<b>FC repos</b>	<b>Chiens sédentaires</b>	<b>FC repos</b>
<b>Abys</b>	128	<b>Kuro</b>	60
<b>Askja</b>	94	<b>Hyago</b>	96
<b>Gypsie</b>	77	<b>Ataxie</b>	94
<b>Jamie</b>	68	<b>Jango</b>	92
<b>Helika</b>	77	<b>Mynavy</b>	47
<b>Hopla</b>	113	<b>Cayak</b>	55
<b>Kanakin</b>	128	<b>Jazz</b>	111
<b>KJ</b>	146	<b>June</b>	96
<b>Kyana</b>	111	<b>Okun</b>	100
<b>Kiska</b>	102		
<b>Nerka</b>	94		
<b>Leader</b>	85		
<b>Nova</b>	78		
<b>Roméo</b>	94		
<b>Spike</b>	87		
<b>Moyenne</b>	<b>98.8</b>	<b>Moyenne</b>	<b>83,4</b>
<b>Ecart type</b>	<b>22.4</b>	<b>Ecart type</b>	<b>23.0</b>

*Tableau 6 : Fréquences cardiaques de repos des chiens de l'étude.*

En comparant les moyennes (tableau 6), la fréquence cardiaque de repos des chiens sédentaires semble légèrement inférieure à celle des chiens sportifs.

D'après le test statistique de comparaison de deux moyennes de séries indépendantes avec variances inégales (Test de Student), la différence des FC repos des chiens sportifs et des chiens sédentaires n'est pas significative :  $p\text{-value}=0.128 (>0.05)$ , intervalle de confiance [-35.63 ; 4.922].

- **Fréquence cardiaque maximale**



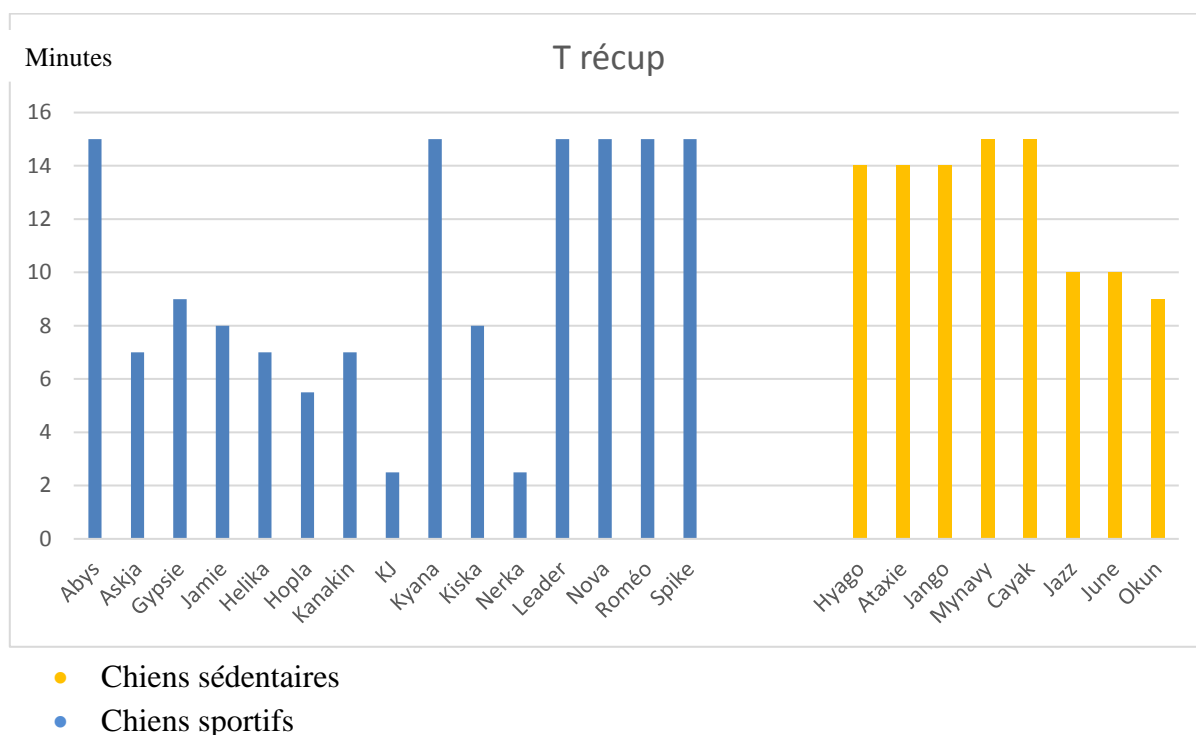
*Figure 55 : Fréquence cardiaque maximale atteinte par les chiens au cours du test d'effort.*

NB : Les fréquences cardiaques maximales à 280 bpm sont les valeurs de fréquences cardiaques ayant dépassé le seuil de détection du Holter ECG. En effet, le Holter ECG utilisé dans cette étude est adapté aux fréquences cardiaques humaines qui n'atteignent jamais de telles valeurs. Au-delà de 280bpm, le signal de l'enregistrement devient trop brouillé pour que la fréquence cardiaque puisse être déterminée. Ainsi, les fréquences indiquées à 280 bpm sont en réalité supérieures à 280 bpm.

La fréquence maximale (Figure 55) semble être plus élevée chez les sportifs avec 4 chiens (Abys, Nova, Leader et Spike) dont la fréquence maximale s'élève au-delà de 280 bpm. Aucun chien sédentaire n'a présenté une fréquence cardiaque maximale dépassant 260 battements par minute. La moyenne de FCmax des chiens sédentaires est de 210bpm et celle des chiens sportifs s'élève à 241bpm.

D'un point de vue statistique, le test de Student de comparaison de moyennes sur séries indépendantes avec des variances inégales indique une p-value de 0.05 et un intervalle de confiance [-62.2344141 ; 0.5677475]. On peut donc conclure que les chiens sportifs atteignent une fréquence cardiaque maximale plus élevée que les chiens non entraînés.

- Temps de récupération :



*Figure 56 : Temps de récupération des chiens en minutes après le test d'effort.*

NB : Les temps de récupération notés à 15 minutes sont les chiens dont le temps de récupération était égal ou supérieur à 15 minutes avant de retrouver une fréquence cardiaque de repos. En effet, certains chiens gardaient un état d'excitation après le test d'effort qui contraindrait la diminution de la fréquence cardiaque jusqu'à une valeur de repos, et il a été décidé d'arrêter l'enregistrement à 15 minutes.

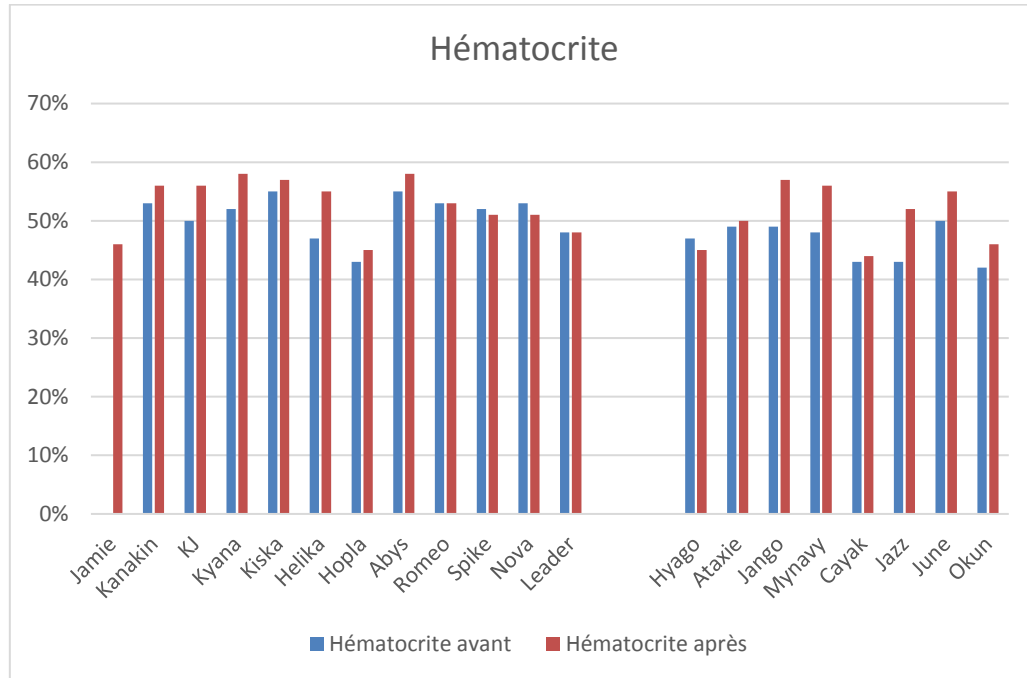
Le temps de récupération apparaît sensiblement inférieur chez les chiens entraînés.

D'après le test statistique de Student de comparaison de moyennes sur séries indépendantes avec des variances inégales :  $p\text{-value} = 0.07 (>0.05)$ , intervalle de confiance  $[-0.2938597 ; 6.0105264]$ . Donc on ne peut pas conclure à une différence significative des temps de récupération entre les deux groupes de chiens.



### c) Paramètres des filières énergétiques :

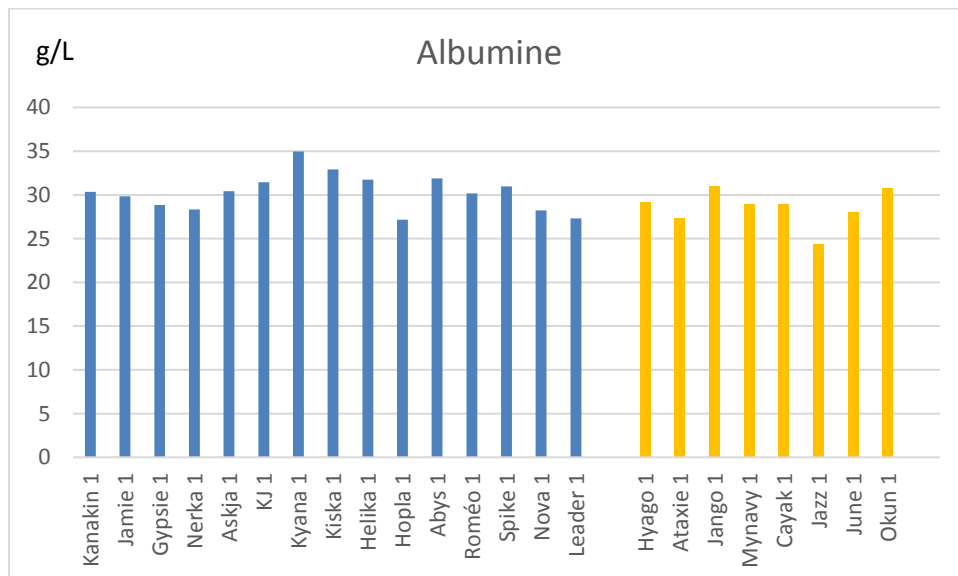
Pour valider les résultats des paramètres plasmatiques, on vérifie l'état d'hydratation avant et après l'exercice par l'analyse de l'hématocrite avant et après l'effort, des protéines totales et des albumines avant l'effort (l'albumine après l'effort n'a pas été mesurée).



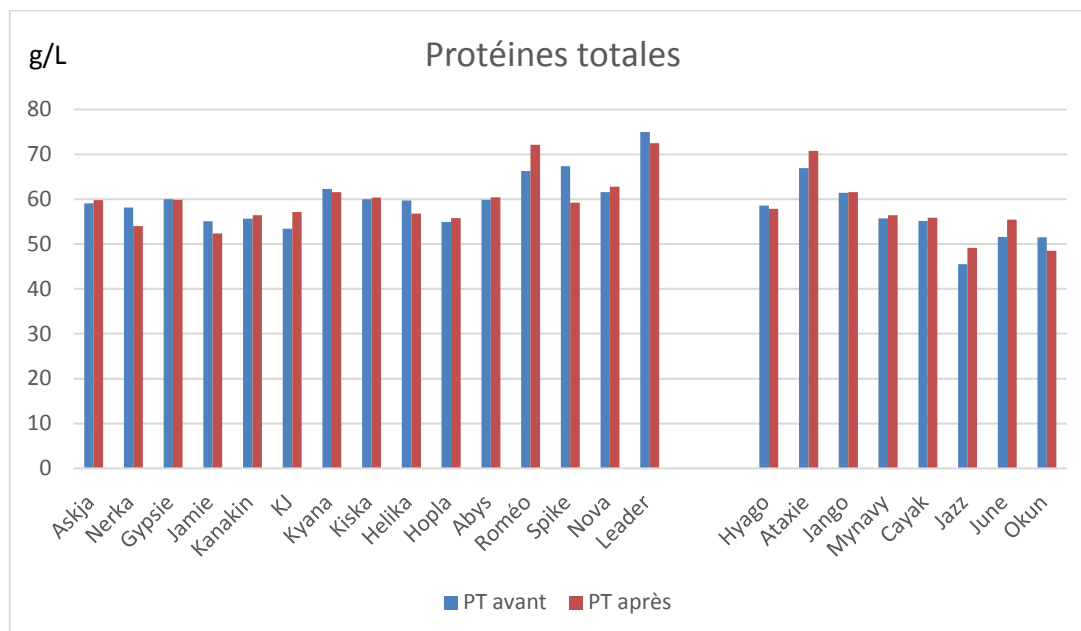
*Figure 57 : Hématocrites des chiens avant et après le test d'effort.*

*A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaires.*

Remarque : Les hématocrites des chiens Askja, Nerka et Gypsie n'ont pas pu être mesurés lors des expérimentations, ainsi que l'hématocrite de Jamie avant son test d'effort.



*Figure 58 : Albumines des chiens mesurées avant l'effort.*



*Figure 59 : Protéines totales avant et après l'effort.*

*A gauche le groupe des chiens sportifs et à droite le groupe des chiens sédentaires.*

Les valeurs des protéines totales avant et après l'effort restent dans les valeurs usuelles (< 75 g/L) pour l'ensemble des chiens.

Des protéines totales et de l'albumine avant l'effort sont déduites les globulines (Protéines totales – Albumine) puis le rapport Albumine/Globuline est calculé.

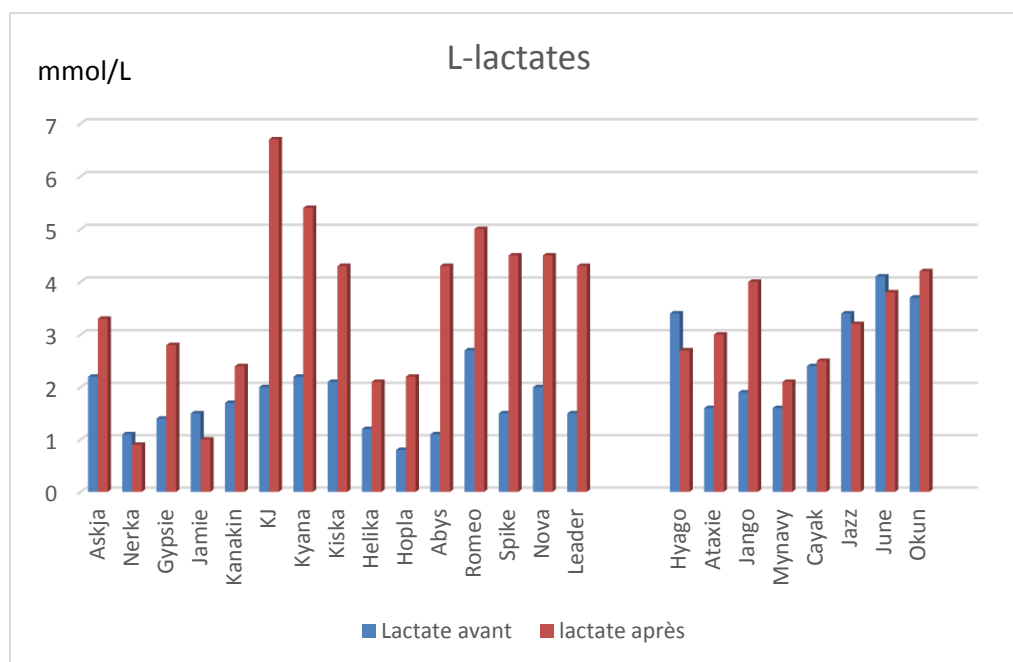
Chiens sportifs	Rapport Albumine/Globuline	Chiens sédentaires	Rapport Albumine/Globuline
<b>Kanakin</b>	<b>1,202</b>	<b>Hyago</b>	0,99
<b>Jamie</b>	<b>1,18</b>	<b>Ataxie</b>	0.689
<b>Gypsie</b>	0,926	<b>Jango</b>	1.018
<b>Nerka</b>	0,952	<b>Mynavy</b>	1.08
<b>Askja</b>	1,063	<b>Cayak</b>	1.107
<b>KJ</b>	<b>1,429</b>	<b>Jazz</b>	1.146
<b>Kyana</b>	<b>1,278</b>	<b>June</b>	1.192
<b>Kiska</b>	<b>1,216</b>	<b>Okun</b>	1.481
<b>Helika</b>	<b>1,134</b>		
<b>Hopla</b>	0,978		
<b>Abys</b>	<b>1,14</b>		
<b>Roméo</b>	0,836		
<b>Spike</b>	0,851		
<b>Nova</b>	0,846		
<b>Leader</b>	<b>0,573</b>		

*Tableau 7 : Rapport Albumine/Globuline des chiens avant le test d'effort.*

Les valeurs usuelles du rapport Albumine/Globuline se situent entre 0.59 et 1.11, et les valeurs sortant de cet intervalle sont notées en **rouge** dans le tableau 8.

L'hématocrite augmente légèrement au cours de l'effort et les albumines et protéines totales sont dans les valeurs usuelles et ne témoignent pas d'une déshydratation. Le rapport Albumine/Globuline est légèrement élevé chez certains chiens mais reste raisonnable.

- **Les lactates**



*Figure 60 : Lactates sanguins des chiens avant et après le test d'effort.*

*A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaires.*

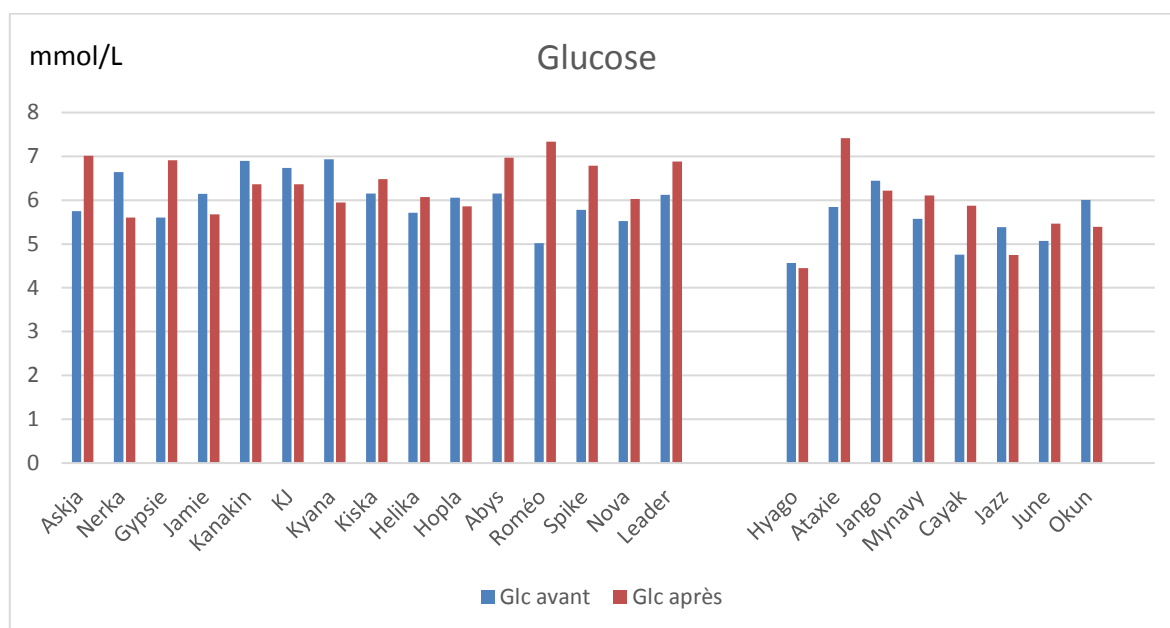
La majorité des chiens voient leur lactatémie augmenter après l'épreuve avec une augmentation très significative ( $p < 0,01$ ) dans le groupe « entraînés » (de  $1,4 \pm 0,6$  avant épreuve à  $3,4 \pm 0,8$  mmoles/L après) et moins significative ( $p < 0,05$ ) dans le groupe « sédentaires » (de  $1,2 \pm 0,3$  avant épreuve à  $1,5 \pm 0,6$  mmoles/L après).

Le test de Wilcoxon révèle également une différence statistiquement très significative ( $p < 0,01$ ) entre la valeur des lactates post-épreuve lorsqu'on compare les groupes sédentaire et entraîné.

	Variance	P
Sportifs	3	0.0003052
Sédentaires	11	0.3621

*Tableau 8 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon réalisé sur les résultats des lactates.*

- **Le glucose**



*Figure 61 : Glycémie des chiens avant et après le test d'effort.*

*A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaires.*

La glycémie a augmenté pendant le test d'effort chez 60 % des sportifs et 50 % des sédentaires. De plus, la glycémie avant et après le test semble plus élevée chez les chiens sportifs que chez les sédentaires.

D'un point de vue statistique :

	Variance	P
Tous les chiens	94	0.0667
Sportifs	39	0.2524
Sédentaires	16	0.2754

*Tableau 9 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de glycémie.*

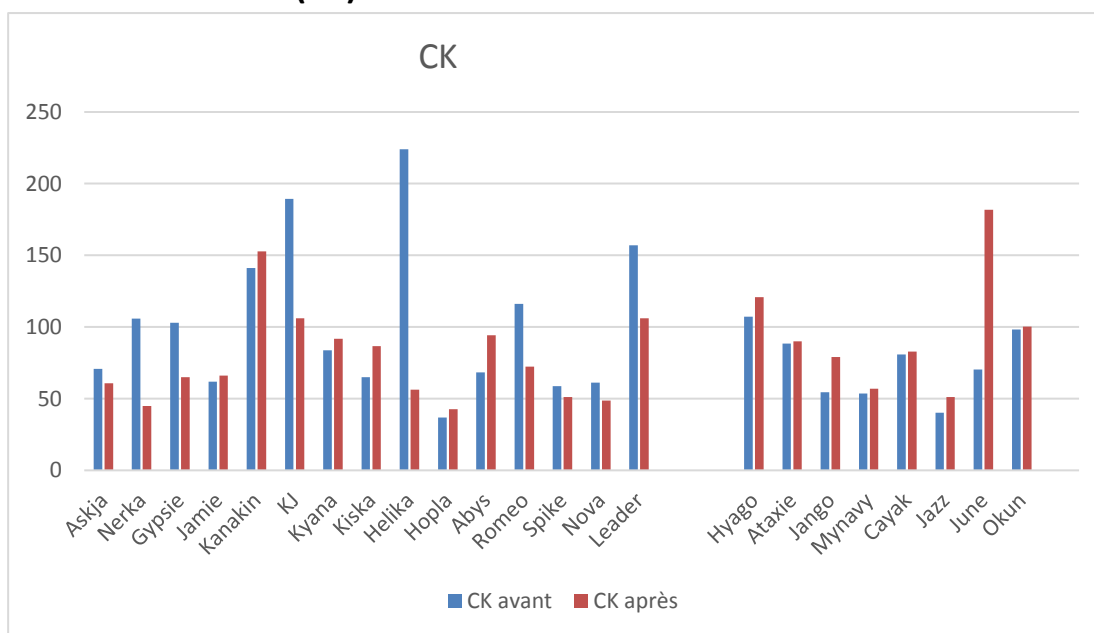
L'effectif de l'étude ne suffit pas à conclure à une variation significative de la glycémie après un test d'effort chez les chiens sportifs et sédentaires.

D'après le test statistique de comparaison des moyennes de séries indépendantes avec des variances inégales (Test de Student), la différence des moyennes des glycémies mesurées avant l'effort entre le groupe des chiens sédentaires et celui des chiens sportifs (moyenne des sédentaires 5.454500, moyenne des sportifs 6.082133) est significative :  $p=0.03563$ , intervalle de confiance  $[-1.20581672 ; -0.04944994]$ . La différence des moyennes des glycémies mesurées après l'effort entre le groupe des chiens sédentaires et celui des chiens sportifs (moyenne des sédentaires 5.708375, moyenne des sportifs 6.419400) n'est pas significative :  $p=0.078 (> 0.05)$ , intervalle de confiance  $[-1.51146174 ; 0.08941174]$ .

Ainsi, au repos, avant le test d'effort, on peut affirmer que les chiens sédentaires ont une glycémie inférieure à celle des chiens sportifs.

## d) Muscles squelettiques :

### • La créatine kinase (CK)



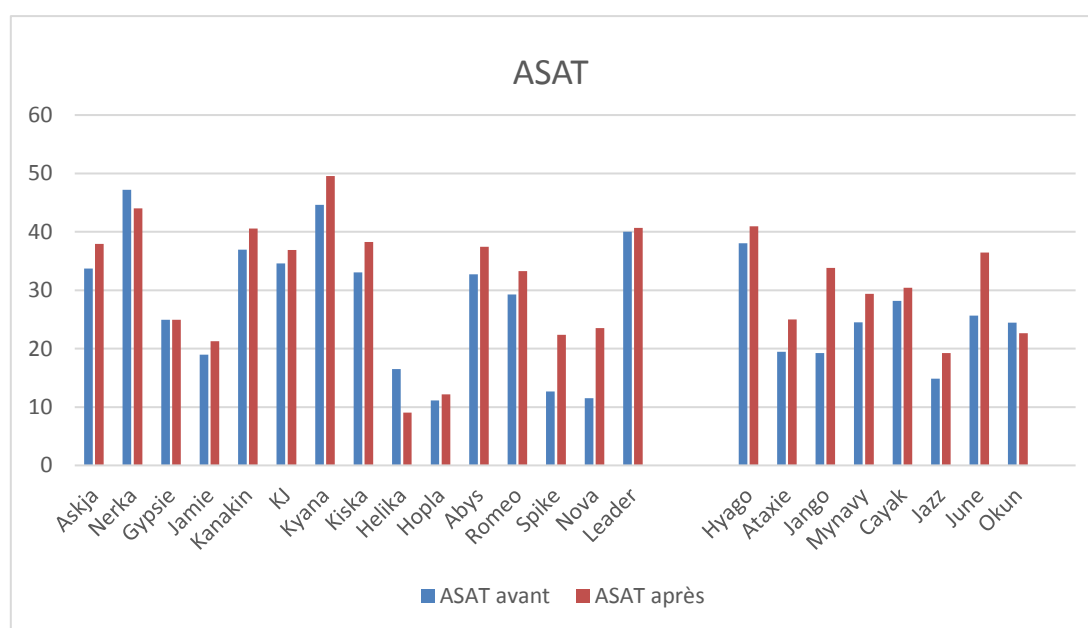
*Figure 62 : Créatine kinase plasmatique des chiens avant et après l'effort.*

*A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaire.*

	V	P
Tous les chiens	146	0.8229
Sportifs	90	0.0946
Sédentaires	0	0.0039

*Tableau 10 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats des CK*

### • Aspartate aminotransférase (ASAT)



*Figure 63 : ASAT des chiens avant et après le test d'effort.*

*A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaire.*

	Variance	P
Tous les chiens	36	0.0002871
Sportifs	20	0.02155
Sédentaires	1	0.003906

Tableau 11 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats des ASAT.

- **Lactate déshydrogénase (LDH)**

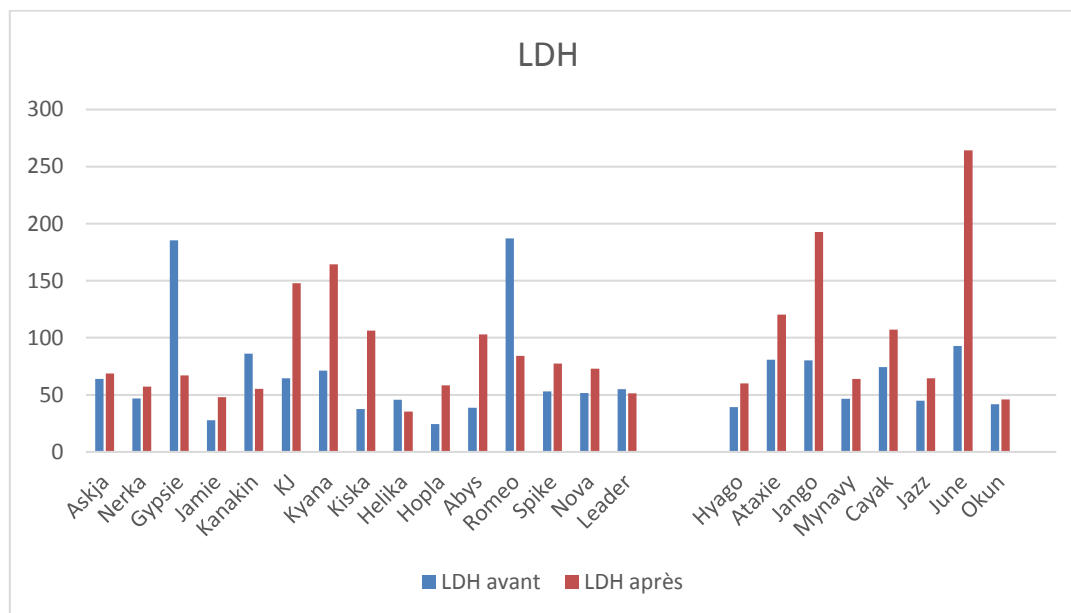


Figure 64 : Lactate déshydrogénase plasmatique des chiens avant et après l'effort.  
A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaire.

	Variance	P
Tous les chiens	69	0.01944
Sportifs	42	0.3303
Sédentaires	8	0.04883

Tableau 12 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de LDH.

Le tableau 13 présente les valeurs moyennes  $\pm$  écart type pour les 3 paramètres évocateurs d'éventuelles lésions musculaires : CK, ASAT et LDH.

	Entraînés		Sédentaires	
	Avant épreuve	Après épreuve	Avant épreuve	Après épreuve
<b>CK</b>	102,9 $\pm$ 53,8	78,1 $\pm$ 28,9	72,5 $\pm$ 21,2	90,6 $\pm$ 29,3*
<b>ASAT</b>	28,5 $\pm$ 12,0	31,5 $\pm$ 11,9*	24,8 $\pm$ 6,4	29,4 $\pm$ 6,5**
<b>LDH</b>	69,3 $\pm$ 50,2	79,8 $\pm$ 36,6	61,6 $\pm$ 20,8	99,9 $\pm$ 74,9*

\*significativement différent d'avant épreuve avec  $p < 0,05$ .

\*\* significativement différent d'avant épreuve avec  $p < 0,01$

Tableau 13 : Valeurs moyennes +/- écart type des CK, ASAT et LDH

On note que chez les entraînés, seules les ASAT augmentent de façon significative contrairement aux sédentaires chez lesquels les 3 paramètres augmentent de façon significative (voire très significative pour les ASAT avec une valeur  $p < 0,01$ ).

Par ailleurs, l'analyse des données ne révèle aucune différence significative entre les valeurs des 3 paramètres entre les deux groupes (entraînés et sédentaires) aux deux temps de l'expérimentation (avant et après épreuve).

L'ensemble des valeurs relevées pour ces 3 paramètres restent dans les limites usuelles de normalité avec 2 sujets qui côtoient les limites supérieures concernant la CK après épreuve (Groupe « entraînés » : Kanakin : 141 => 152 UI/L et groupe « sédentaires » : June : 70 => 182 UI/L).

- **La protéine C réactive (CRP)**

	CRP avant	CRP après		CRP avant	CRP après
<b>Chiens sportifs</b>			<b>Chiens sédentaires</b>		
Askja	3,529	8,019	Hyago	3,787	2,233
Nerka	9,913	3,509	Ataxie	6,824	19,171
Gypsie	<b>68,274</b>	<b>71,45</b>	Jango	3,153	1,866
Jamie	3,382	1,43	Mynavy	4,272	1,776
Kanakin	8,409	7,83	Cayak	4,887	5,29
KJ	0,82	0,093	Jazz	0,42	0,902
Kyana	1,669	1,122	June	1,003	1,348
Kiska	3,094	1,152	Okun	1,299	1,144
Helika	1,526	1,023			
Hopla	0,567	3,741			
Abys	3,24	1,032			
Roméo	0,302	1,155			
Spike	2,527	2,713			
Nova	2,472	6,32			
Leader	2,431	0,583			

*Tableau 14 : CRP en mg/L des chiens sportifs et sédentaires avant et après le test d'effort.*

Tous les chiens ont une CRP qui reste dans les valeurs usuelles ( $< 10$  mg/L) même après l'effort mis à part Gypsie qui a une CRP très élevée (68,3 mg/L) dès la première prise de sang ainsi qu'après l'effort (71,5 mg/L).

Cependant, on ne note pas de tendance à l'augmentation ou à la diminution de la CRP après le test d'effort. Et d'un point de vue statistique (tableau 15), il n'y a pas d'augmentation ou de diminution significative de la CRP après le test d'effort.

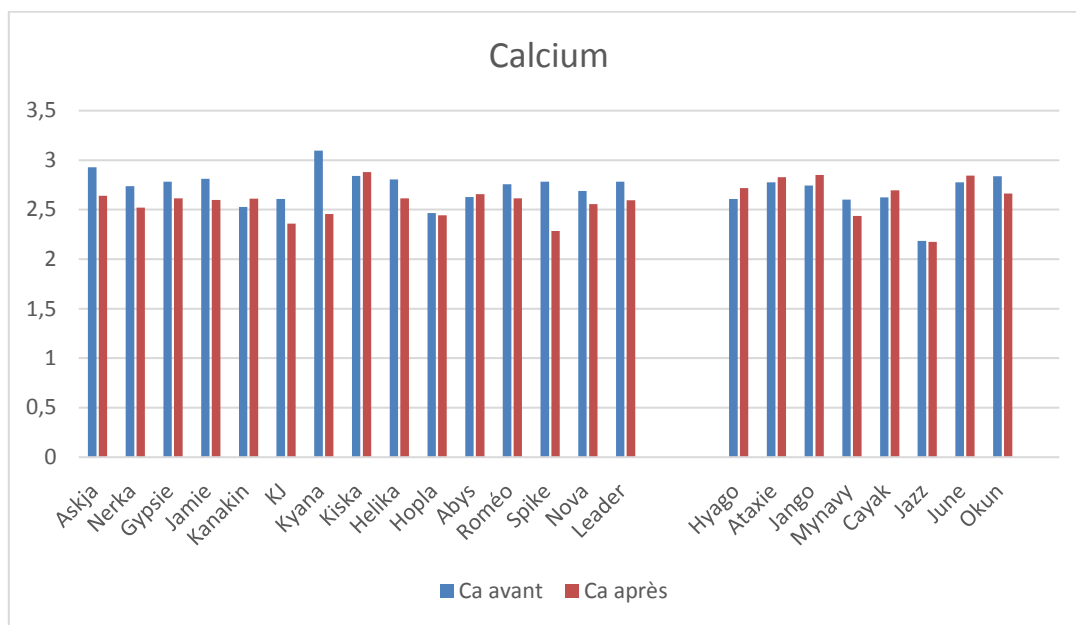
	Variance	P
Tous les chiens	172	0.8119
Sportifs	63	0.8904
Sédentaire	20	0.8203

*Tableau 15 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de CRP.*

Il n'y a pas de différence significative des CRP non plus entre le groupe sédentaire et le groupe entraîné aux deux temps de l'expérimentation (avant le test et après le test).

## e) Electrolytes :

- **Calcium (Ca<sup>2+</sup>)**



*Figure 65 : Calcium plasmatique des chiens avant et après le test d'effort.*

*A gauche : le groupe des chiens sportifs, à droite : le groupe des chiens sédentaires.*

On observe une baisse du calcium après l'effort chez les sujets entraînés.

D'un point de vue statistique, la baisse de calcium des sportifs est très significative (Résultats statistiques du test de Wilcoxon :  $V= 111$ ,  $p= 0.002014$ ).

La variation du calcium des sédentaires n'est pas significative (Résultats statistiques du test de Wilcoxon :  $V= 16$ ,  $p= 0.4961$ ).

Par ailleurs, les valeurs de la calcémie après effort du groupe « sédentaires » est significativement plus élevée que celle du groupe « entraînés » ( $p < 0,05$ )

	Entraînés		Sédentaires	
	Avant épreuve	Après épreuve	Avant épreuve	Après épreuve
<b>Calcium</b>	$2,75 \pm 0,16$	$2,56 \pm 0,14^{**}$	$2,64 \pm 0,24$	$2,66 \pm 0,21^{\dagger}$

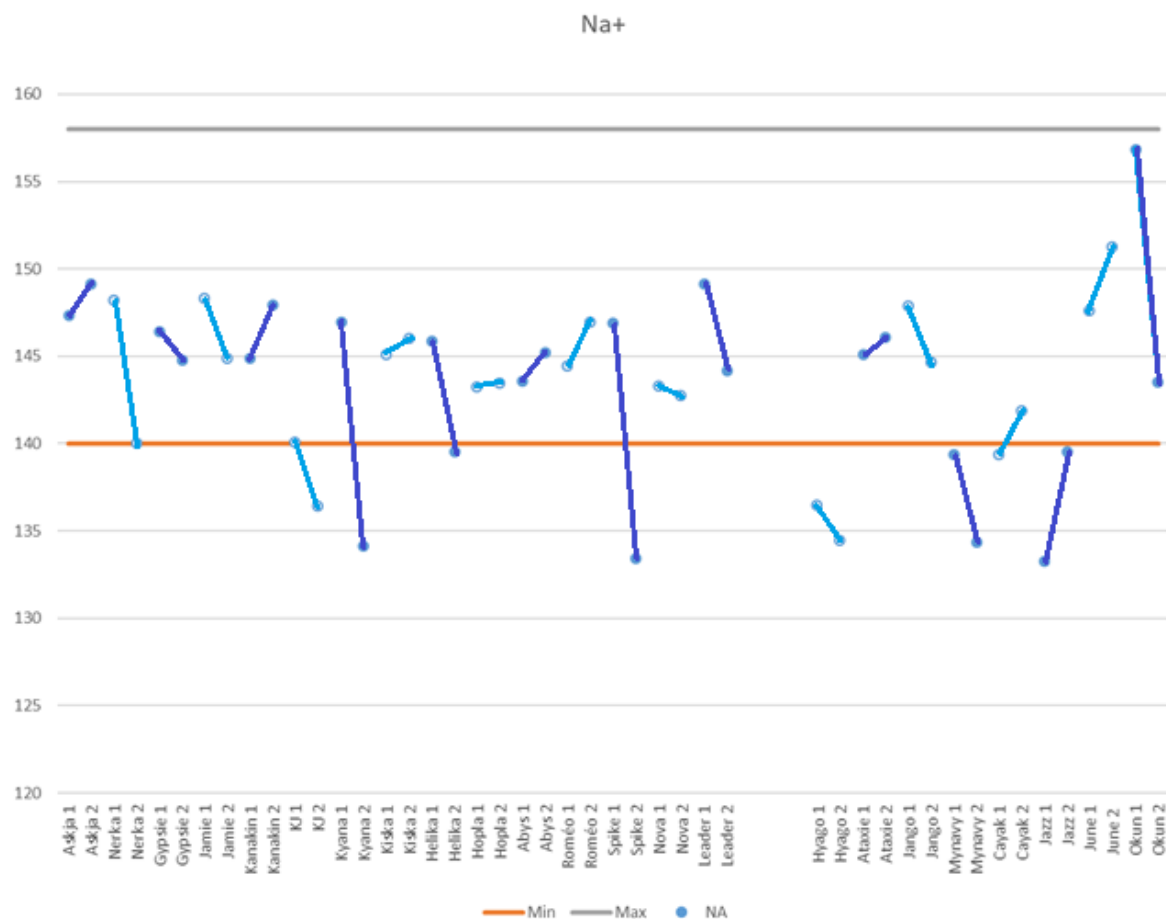
\*\* significativement différent d'avant épreuve avec  $p < 0,01$

$\dagger$  significativement différent entre les 2 groupes

*Tableau 16 : Valeurs moyennes +/- écarts types du calcium avant et après l'effort chez les entraînés et chez les sédentaires.*



- Sodium (Na<sup>+</sup>)

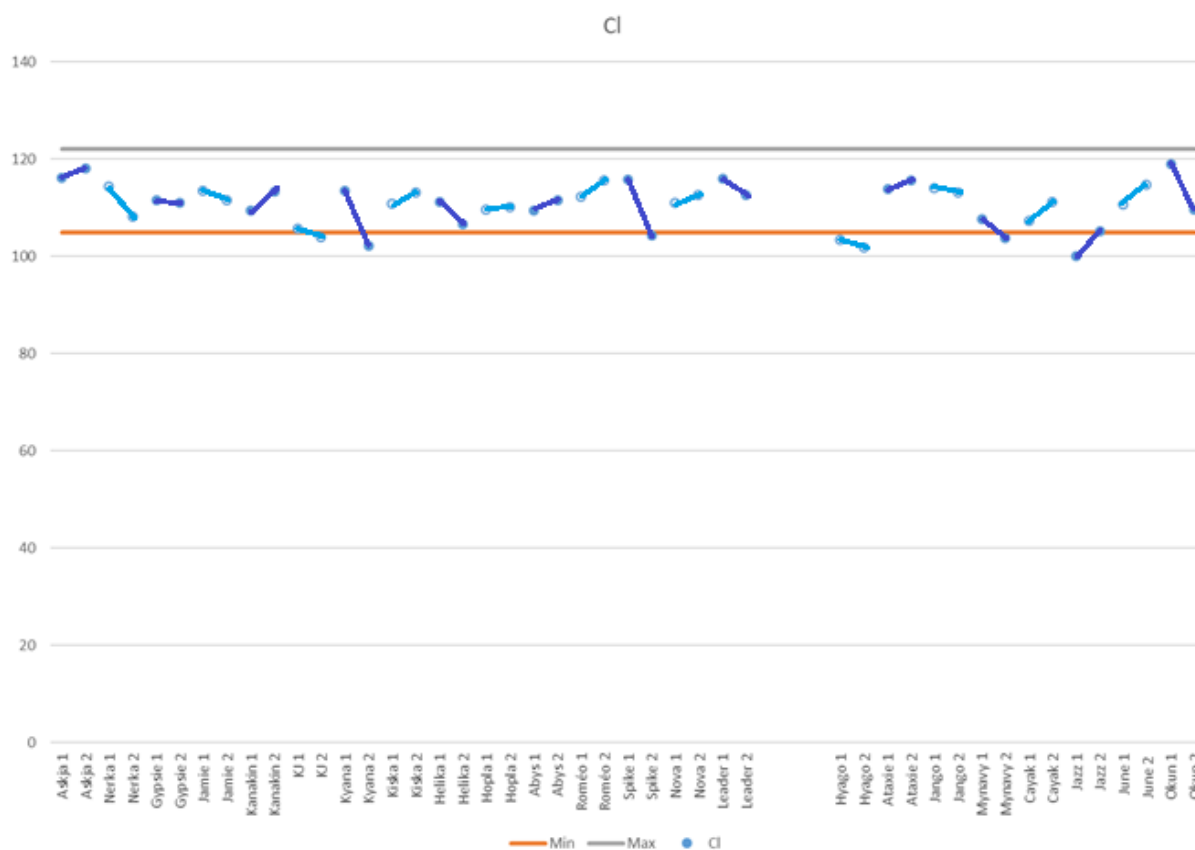


*Figure 66 : Na<sup>+</sup> des chiens avant (1) et après (2) l'effort représenté avec l'intervalle de référence. A gauche : les chiens du groupe sportif, à droite : les chiens du groupe sédentaire.*

On observe une diminution du sodium de 73 % des sportifs avec 4 chiens dont la natrémie baisse en dessous de la valeur usuelle minimale après l'effort. Ce constat chez les sportifs n'est cependant pas significatif selon le test des rangs signés de Wilcoxon (V= 90, p= 0.094).

Chez les sédentaires, on note une diminution du sodium avec 2 chiens dont la natrémie baisse en dessous de la valeur usuelle minimale après l'effort. On note également plusieurs valeurs anormalement basses du sodium avant l'effort, qui se majore chez 1 sujets (Jazz) ou s'atténuent chez 2 sujets (Hyago et Mynavy) après effort. Le test statistique de Wilcoxon ne permet pas non plus de conclure à une variation du sodium après effort chez les sédentaires (V= 20, p= 0.84 > 0.05). De la même façon, on ne note aucune différence significative entre les natrémies des deux groupes de chiens aux deux temps de l'expérimentation.

- **Chlore (Cl<sup>-</sup>)**



*Figure 67 : Cl<sup>-</sup> des chiens avant (1) et après (2) l'effort représenté avec l'intervalle de référence. A gauche : les chiens sportifs, à droite : les chiens sédentaires.*

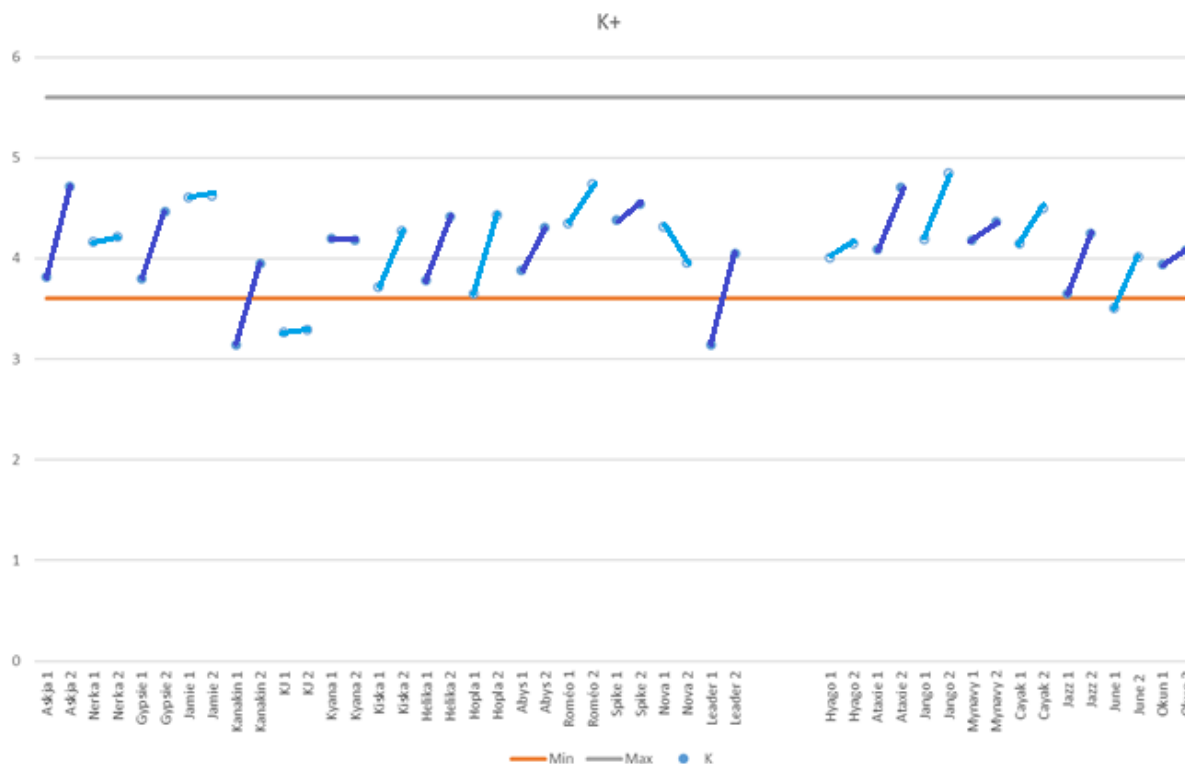
Après effort, certains chiens ont une chlorémie diminuée avec 3 chiens ayant une valeur inférieure aux normes dans le groupe entraîné et 2 chiens dans le groupe sédentaire.

	V	P
Ensemble des chiens	155	0.62
Chiens sportifs	74	0.45
Chiens sédentaires	16	0.84

*Tableau 17 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de chlorémie.*

D'un point de vue statistique (Tableau 17), la diminution de la chlorémie après l'effort n'apparaît pas significative ( $p > 0.05$ ) d'après le test statistique de Wilcoxon chez aucun des groupes de chiens.

- Potassium (K<sup>+</sup>)



*Figure 68 : K<sup>+</sup> des chiens avant (1) et après (2) l'effort représenté avec l'intervalle de référence. A gauche : les chiens sportifs, à droite : les chiens sédentaires.*

La kaliémie augmente chez 93 % des sportifs et chez tous les sédentaires. Ce résultat est très significatif statistiquement d'après le test de Wilcoxon (V=12,  $p = 1.67 \times 10^{-5} < 0.01$ ).

	Moyenne de K <sup>+</sup> avant	Moyenne de K <sup>+</sup> après	Différence après-avant
Sportifs	3,88 +/- 0,46	4,28 +/- 0,37**	0,396333
Sédentaires	3,97 +/- 0,26	4,36 +/- 0,30 **	0,400875

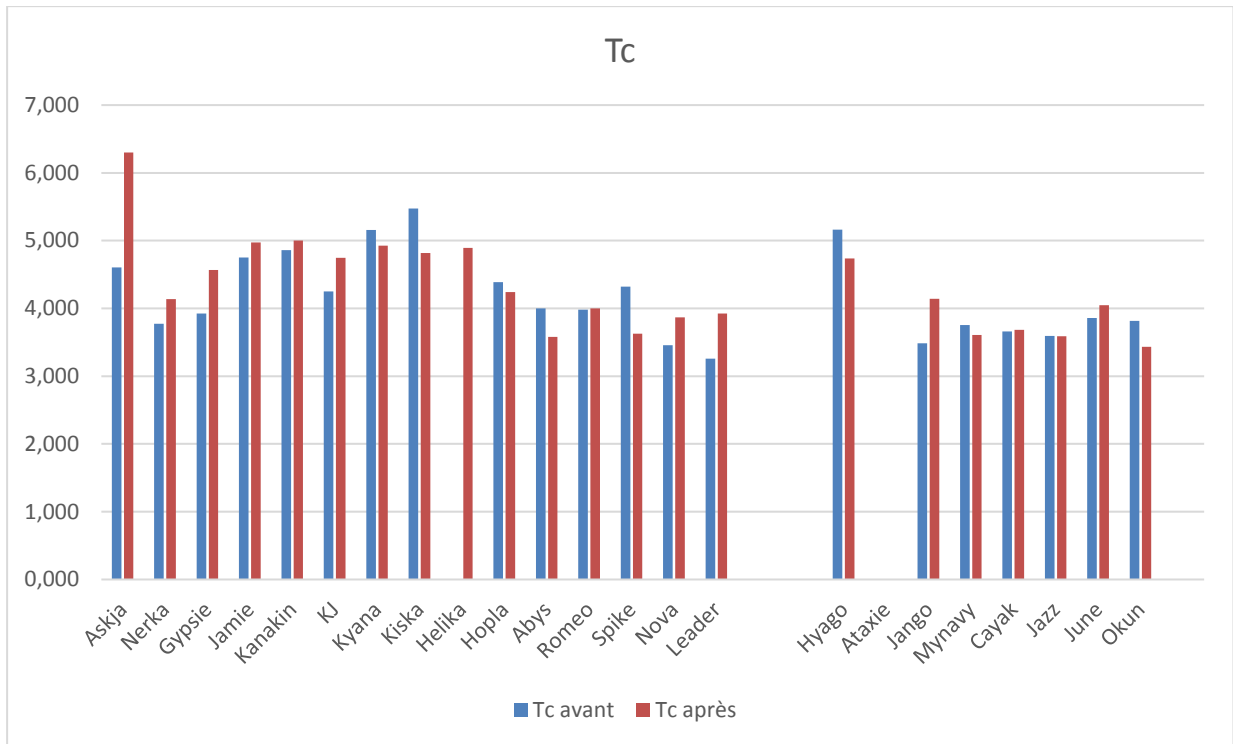
\*\* significativement différent d'avant épreuve avec  $p < 0,01$

*Tableau 18 : Moyennes des kaliémies avant et après effort +/- écarts types.*

On a donc une augmentation très significative ( $p < 0,01$ ) de la kaliémie après l'épreuve aussi bien chez entraînés que chez les sédentaires. Par contre il n'y a pas de différence significative entre entraînés et sédentaires avant le test ni après le test d'effort ( $p > 0,05$ ).

## f) Fluidité membranaire érythrocytaire :

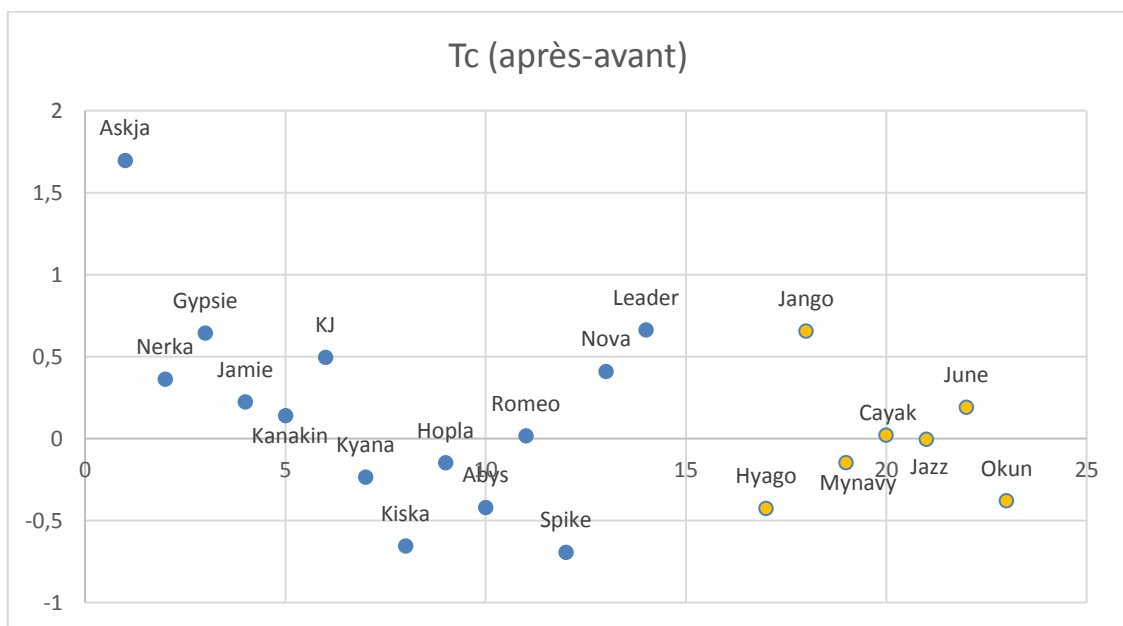
- Étude de la dynamique lipidique membranaire : le temps de corrélation-relaxation Tc



*Figure 69 : Temps de corrélation-relaxation avant et après le test d'effort.*

*A gauche : les chiens sportifs, à droite : les chiens sédentaires.*

Remarque : Pour des raisons techniques (hémolyse, coagulation), les résultats d'Ataxie et de Helika avant effort n'ont pas pu être obtenus.



- Chiens sportifs
- Chiens sédentaires

*Figure 70 : Différence des Tc avant et après le test d'effort.*

	Variance	P
Ensemble des chiens	117	0.54
Sportifs	40	0.46
Sédentaire	22	0.64

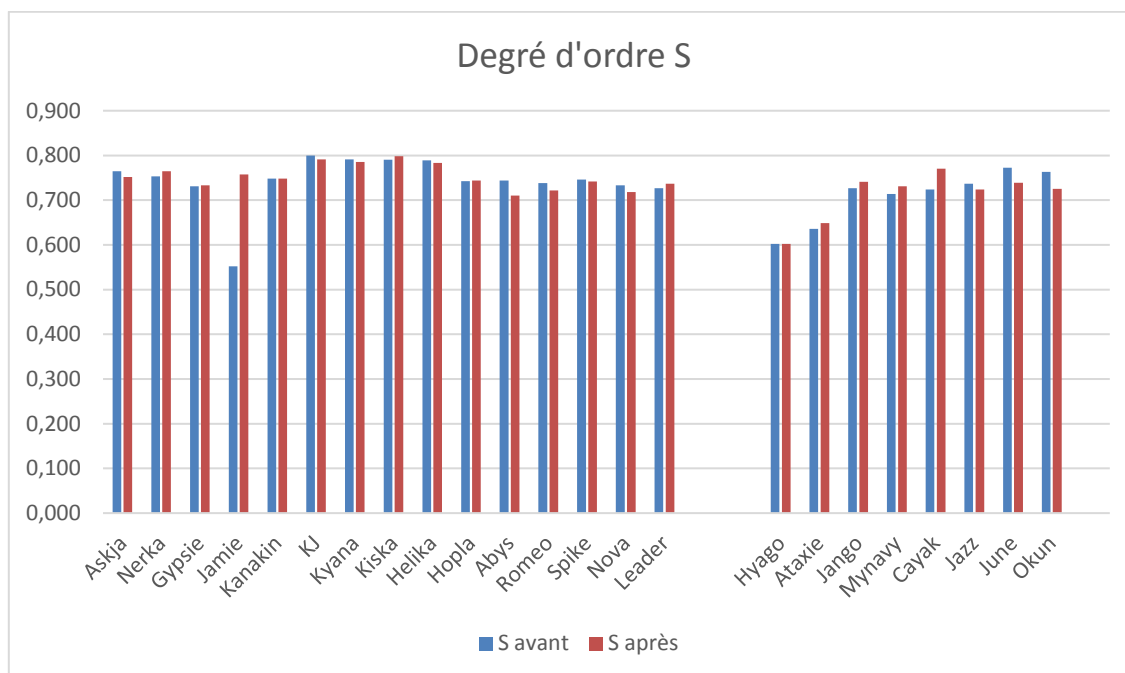
*Tableau 19 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les résultats de Tc*

Nos résultats montrent des évolutions variables de Tc suivant les sujets et les groupes avec des augmentations du paramètre chez 60 % des sujets du groupe entraîné et 44,5 % des sujets du groupe sédentaire.

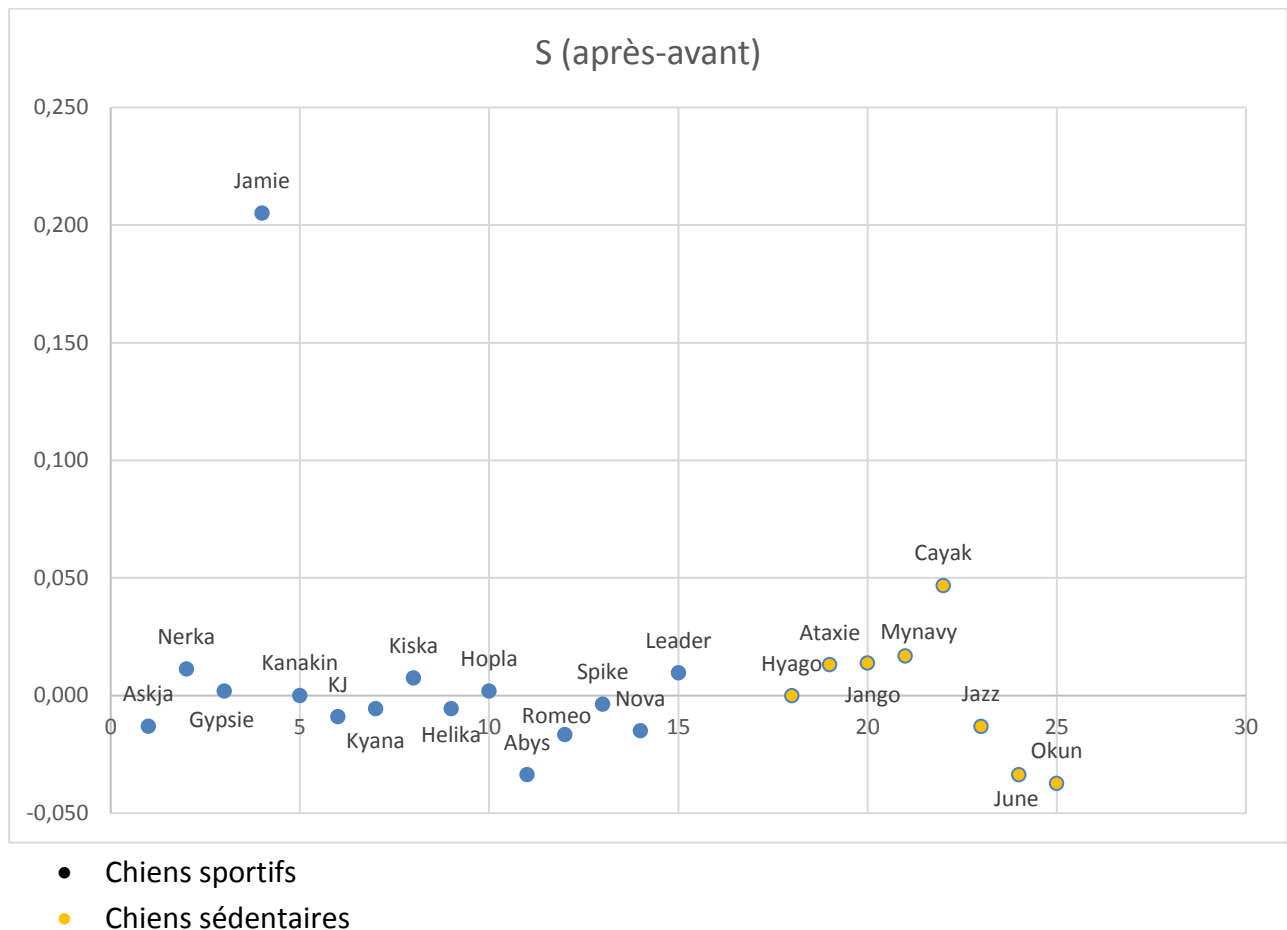
D'un point de vue statistique (Tableau 19), aucune tendance à l'augmentation ou à la diminution des temps de corrélation-relaxation entre le début et la fin du test d'effort n'est apparue significative ( $p > 0.05$ ).

De la même façon, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les deux groupes aux deux temps de l'expérimentation avant et après effort selon le test de Wilcoxon.

- **Étude de l'ordre moléculaire : mesure du degré d'ordre S**



*Figure 71 : Degré d'ordre des chiens avant et après le test d'effort. A gauche : groupe des chiens sportifs, à droite : groupe des chiens sédentaires.*



*Figure 72 : Différence de degré d'ordre S avant et après le test d'effort*

Comme dans le cas de Tc on observe des évolutions variables (augmentation ou diminution) du degré d'ordre « S » avec une augmentation très sensible pour Jamie après l'épreuve.

D'un point de vue statistique (Tableau 20), aucune des variations détectées ne se sont révélés significatives. Même en omettant les valeurs extrêmes de Jamie, l'analyse ne s'avère toujours pas significative quant à l'évolution de S avant et après épreuve.

	Variance	P
Tous les chiens	152	0.78
Sportifs	73	0.49
Sportif sans Jamie	73	0.216
Sédentaire	18	0.37

*Tableau 20 : Résultats statistiques du test des rangs signés de Wilcoxon sur les degrés d'ordre*

Là encore, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les deux groupes aux deux temps de l'expérimentation, avant et après effort.

## **2) Discussion**

### **a) Performances aux tests d'effort**

En analysant les résultats des tests d'effort, les chiens entraînés se sont avérés bien plus performants que les chiens sédentaires. Les chiens sédentaires sont incapables de réaliser le test d'effort selon le même protocole de paliers que les sportifs par manque de condition physique et très certainement d'habitation à la course. Les chiens sédentaires ont souvent arrêté leur effort avant d'atteindre une intensité équivalente à celle des chiens sportifs. Le plus performant des chiens sédentaires a pu atteindre un dernier palier à 15 km/h et 10 % de pente mais la plupart des chiens du même groupe n'ont atteint un effort maximal que lors d'un dernier palier à 10-11 km/h (contre 17 km/h pour les sportifs). Les sportifs ont été capables de suivre un protocole de paliers plus rapides et intenses (avec de la pente) tout en maintenant une traction pendant une partie du test. On ne note pas de différence de performance entre les chiens entraînés avec des séances en exercices fractionnés par rapport à ceux ayant réalisé uniquement des entraînements continus. On ne note pas non plus de différence de performance entre :

- les chiens nourris au BARF par rapport aux chiens nourris avec un aliment sec et complet pour chiens actifs,
- les mâles et les femelles
- les chiens entiers ou stérilisés.

Ainsi, les entraînements en continu et fractionnés apportent des adaptations physiologiques qui peuvent amener les chiens à des niveaux de performance équivalents. Une ration BARF ne paraît pas influencer les performances par rapport à une ration alimentaire à base de nourriture industrielle riche en protéines et en lipides. Le sexe et la stérilisation des chiens ne semblent pas non plus influencer les performances.

### **b) Paramètres cardiaques**

La fréquence cardiaque de repos apparaît inférieure chez les chiens sédentaires par rapport aux chiens sportifs (bien que ce résultat soit non significatif statistiquement), ce qui n'est pas cohérent avec les résultats attendus c'est-à-dire que la fréquence cardiaque de repos devrait baisser avec l'entraînement [54]. Ceci peut s'expliquer par un biais comportemental entre les chiens sportifs et sédentaires ainsi qu'un biais lors de la mesure de la FC de repos (voir chapitre suivant III, 1.).

Il apparaît que les chiens sportifs sont capables d'atteindre des fréquences cardiaques maximales significativement supérieures à celles des chiens sédentaires. Ce résultat est cohérent avec une augmentation du débit cardiaque induite par l'entraînement chez des sujets sportifs [16]. Cependant, il est également probable que ce résultat soit influencé par le biais comportemental des chiens sportifs très motivés à courir lors de leur test d'effort (cf III, 1.).

L'entraînement apporte alors aux chiens une capacité de variation de fréquence cardiaque entre l'état de repos et celui de l'exercice maximal plus grande, permettant la réalisation de performances physiques meilleures.

Bien que ce résultat ne soit pas statistiquement significatif dans notre étude, il semble que les chiens sportifs récupèrent un peu plus rapidement que les chiens sédentaires, et donc que l'entraînement permettrait d'améliorer la récupération après un effort intense. En effet, des études montrent qu'un entraînement de la fonction cardiovasculaire chez des individus sains

permet, après un effort maximal, un retour à la normale de la fréquence cardiaque plus rapide [62].

### **c) Paramètres biochimiques**

- **Lactates**

Les lactates sanguins augmentent pendant le test d'effort chez la majorité des chiens, qu'ils soient entraînés ou non. Cette augmentation est beaucoup plus marquée chez les chiens sportifs qui parviennent à maintenir l'effort malgré l'accumulation d'acide lactique, ce qui pourrait marquer un certain degré de résistance à l'acide lactique acquis grâce à l'entraînement. Là encore, un biais comportemental peut interférer avec les résultats et expliquer les taux de lactates plus bas des chiens sédentaires car ils n'ont souvent pas su pousser l'effort jusqu'à un exercice aussi intense que les chiens entraînés, limitant leur production de lactates. Ces résultats confirment que le niveau d'effort relatif chez les chiens sédentaires a été notablement inférieur à celui des chiens entraînés. En effet, on aurait pu s'attendre à ce que les taux de lactates soient supérieurs chez les chiens non entraînés pour un même niveau d'effort relatif. De plus, d'après une étude menée chez des cyclistes [61], l'entraînement en endurance augmente les capacités de production et d'élimination des lactates jusqu'à un certain seuil lactique où la clairance du lactate endogène devient limitée. Les chiens entraînés sont capables de limiter l'accumulation de lactate jusqu'à une certaine intensité d'exercice (beaucoup plus élevée que celle des sédentaires) au-delà de laquelle l'élimination du lactate est dépassée par la production. Ceci peut expliquer en partie la plus forte lactatémie des chiens sportifs après leur test d'effort très intense malgré une certaine adaptation acquise par l'entraînement.

Nous notons par ailleurs que les taux de lactate mesurés chez les chiens entraînés à la suite de l'épreuve restent dans les limites de la normale, à savoir < 10 mmol/L. Ceci atteste d'une bonne adaptation à l'effort vu le caractère submaximal voir maximal de l'effort à la fin du protocole (17 km/h, pente à 15 % et maintien de ce plateau pendant 5 minutes pour les plus performants) et témoigne de la qualité des entraînements subis par les sujets du groupe « entraîné ».

On pourra noter que les 4 sujets (Jamie, Hélika, Hopla et Abys) ayant été soumis à un entraînement comportant des séances de travail « fractionné » (respectant une durée totale maximale par séance environ équivalente à celle de la course choisie en objectif (20 minutes) et réalisée à moyenne ou haute intensité, (60 à 90 % de VMA) ont une valeur moyenne de lactatémie post-effort moindre ( $2 \pm 1,3$  mmol/L) que le reste des sujets non soumis au même type d'entraînement ( $3,9 \pm 1,8$  mmol/L). Cette différence, non significative ( $p > 0,05$ ) le devient si on exclut Abys qui a le taux le plus élevé de lactates post-effort (3,87 mmol/L) parmi les entraînés en travail « fractionnés » ( $p < 0,05$ ). Ces éléments sont cependant à relativiser du fait des incertitudes évoquées plus haut quant au réel niveau d'effort relatif effectué par chaque sujet ainsi que du faible niveau des effectifs.

L'hématocrite et l'analyse des protéines totales permet d'affirmer que l'augmentation de la lactatémie des chiens sportifs n'est pas une conséquence d'une déshydratation lors de l'effort mais bien le résultat d'une adaptation physiologique à l'effort maximal, et atteste du fait qu'ils ont réalisé des efforts significatifs.



- **Glycémie**

On ne note pas de variations significatives de la glycémie entre avant et après l'effort et les glycémies restent dans les normes. On trouve par contre une glycémie avant l'effort significativement plus basse chez les sédentaires par rapport aux chiens du groupe « sportif ». En revanche il n'y a pas de différence significative entre sédentaires et entraînés après l'épreuve même si la glycémie semble plus élevée globalement chez les sportifs.

Le fait que les chiens entraînés, malgré un effort significatif, ne présentent pas d'hypoglycémie signifie qu'ils sont capables de mobiliser de façon satisfaisante leurs réserves glucidiques et que l'arrêt de l'effort n'est pas lié à un déficit glycémique. L'entraînement permet en effet une adaptation de l'utilisation des substrats énergétiques (mobilisation des lipides et/ou du glycogène musculaire) pour effectuer un effort intense et mobilisant un métabolisme mixte aérobie-anaérobie [16].

De plus, la glycémie semble augmenter après un test d'effort (même si les analyses statistiques ne permettent pas d'affirmer ce constat) et elle semble plus élevée globalement chez les sportifs par rapport aux sédentaires malgré une épreuve vraisemblablement plus intense en niveau d'effort relatif. En effet, dans une étude (Snow et al., 1998 ; Ilkiw et al., 1989 ; Rose et al., 1989), un effort court et intense chez le Greyhound induit une augmentation de la glycémie à l'effort qui n'est pas retrouvée lors d'efforts plus longs comme ceux des sports de traîneau. La glycémie témoigne de la mobilisation des réserves glycogéniques des muscles puis du foie qui apparaît alors plus importante chez les chiens de sport [55].

Par ailleurs, un stress comme celui induit par une épreuve sur tapis de course avec toutes les manipulations expérimentales nécessaires à l'étude (prises de sang, pose du Holter ECG etc.) ou bien lié à l'excitation d'une course dans le cas des chiens entraînés habitués aux compétitions, peut induire une augmentation de la glycémie par l'intermédiaire de la sécrétion de catécholamines [64]. Le niveau de stress (propre à chaque individu) et les variations de glycémie qui en sont liées peuvent expliquer en partie l'augmentation de la glycémie après l'effort.

Enfin, on ne note pas de différence de glycémie à l'effort entre les chiens nourris au BARF et ceux nourris avec un aliment sec et complet comportant plus de glucides.

#### **d) Paramètres musculaires**

L'augmentation significative des 3 paramètres envisagés chez les sédentaires après l'effort, même si certains d'entre eux (ASAT, LDH) ne sont pas exclusivement spécifiques du muscle strié squelettique, montre que l'épreuve imposée a mis à contribution ces derniers de façon intensifiée et a peut-être contribué à la création de microlésions musculaires chez certains sujets non habitués à réaliser ce genre d'exercice. On note cependant que les élévations ainsi observées restent dans les limites de la normale (ou au niveau supérieur de normalité pour June) attestant que l'effort réalisé par la plupart des sujets du groupe sédentaire n'a pas atteint des niveaux d'intensité excessifs. Malgré cela, la variation significative des 3 paramètres atteste du bas niveau d'adaptation des sédentaires à l'effort, relativement modeste demandé et vraisemblablement de la faible capacité de leurs défenses antioxydantes à contrer les effets délétères des flux radicalaires générés par l'exercice [74] [52].

Chez les entraînés, l'absence de variation significative de la CK après effort, paramètre spécifique du territoire musculaire, atteste de la bonne adaptation des sujets entraînés à l'effort demandé qui était beaucoup plus important que dans le cas des sédentaires. Ces éléments sont

donc en faveur d'une meilleure adaptation à l'effort (et au stress oxydant engendré par l'exercice) des entraînés, même si une variation significative des ASAT est notée dans ce groupe après l'effort. A ce titre il aurait été intéressant de doser les CK plus tardivement entre 3 et 8h après l'effort, correspondant au délai nécessaire pour atteindre un pic de CK plasmatique [54], afin de confirmer leur augmentation chez certains sujets du groupe entraîné et potentiellement d'observer une augmentation encore plus importante chez les sujets sédentaires. La même remarque pourrait être faite pour les 2 autres marqueurs choisis (ASAT et LDH) dont les pics plasmatiques s'observent environ 12 heures après l'effort [65].

Ceci aurait peut-être permis de mettre en évidence des différences significatives des valeurs moyennes de ces paramètres après l'effort entre les deux groupes à des temps plus tardifs (T0 + 8h, 12h, 24h par exemple).

En outre, on note que les valeurs des trois paramètres ne diffèrent pas significativement entre sédentaires et entraînés à T0 (avant l'épreuve) et restent dans les limites de la normale, ce qui atteste du fait que les protocoles d'entraînements subis ne sont pas excessifs et n'ont pas engendré de souffrance musculaire chronique ou de surentraînement.

Enfin, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les niveaux de CK après l'épreuve chez les chiens ayant subi un entraînement fractionné par rapport au reste du groupe entraîné. Notons toutefois que ce type d'entraînement particulier s'accompagne, de façon significative ( $p < 0,05$ ) d'une moindre valeur des ASAT après l'effort. Comme dans le cas des lactates, le fait d'exclure un sujet (Abys) du groupe des « entraînés en fractionné » montre, chez ces derniers, une moindre élévation des LDH significative ( $p < 0,05$ ) et accroît la significativité de la moindre élévation des ASAT du groupe ( $p < 0,01$ ) par rapport au reste des entraînés.

Ces données suggèrent que le sujet incriminé (Abys) a reçu un entraînement fractionné inadapté ou a moins bien réagi à cet entraînement par rapport aux autres membres du sous-groupe « entraînés en fractionné » mais ces hypothèses restent à confirmer vu les faibles effectifs des groupes concernés.

Ainsi, l'entraînement en continu ou en fractionné a permis à une majorité des chiens de prévenir dans une certaine mesure les lésions musculaires engendrées par l'effort intense du test.

- **La Protéine C réactive (CRP) :**

Il n'y a pas de différence significative des CRP avant et après effort chez les chiens sportifs ni chez les chiens sédentaires. Il a été montré chez l'homme et le chien que la CRP atteint un pic maximal 24 à 48h après l'effort après avoir effectué des exercices épuisants de longue à très longue durée tel qu'un marathon ou un triathlon pour l'homme [51,63]. Ici l'exercice est trop bref pour observer cela et la prise de sang est réalisée immédiatement après l'effort. Il aurait été intéressant de faire l'analyse à 24 ou 48h après l'exercice pour être au plus proche du pic de CRP, mais pour des raisons pratiques (chiens de propriétaires, contraintes techniques etc.) cela n'a pas été réalisable pour cette étude.

On ne constate pas non plus de différence significative avant le test entre sédentaires et entraînés, et tous ont des CRP  $< 5$  mg/L sauf 2 chiens entraînés (Nerka : 9,9 et Kanakin : 8,4 mg/L) mais qui restent dans la norme. Comme en atteste le bas niveau des CRP chez les entraînés le niveau d'entraînement subi par ces derniers ne semble pas excessif puisqu'il ne semble pas avoir provoqué de réponse inflammatoire aiguë (« acute phase response »)

caractéristique des activités physiques excessives, délétères, et génératrices de lésions musculaires et d'augmentations de la CRP [63].

Dans la mesure où les CRP ne diffèrent pas significativement entre les 2 groupes aux deux temps de l'effort (avant/ après le test) le type d'entraînement suivi ne semble pas non plus avoir favorisé une baisse du paramètre chez les sujets sportifs et une moindre élévation à l'effort exténuant comme cela a pu être mis en évidence chez des athlètes humains entraînés en endurance dans certaines disciplines (chez des rameurs mais pas chez des footballeurs par exemple) [77].

Les taux de CRP élevés et supérieurs à la normale d'un des sujets du groupe entraîné (Gypsie) avant et après l'effort indique soit une activité physique prolongée et/ou épuisante dans les jours qui ont précédé le test soit l'existence d'un processus inflammatoire d'origine indéterminée (infections bactériennes, virales, parasitaires, arthrites, nécroses tissulaires, néoplasmes etc.) nécessitant des investigations complémentaires.

### **e) Electrolytes**

- **Sodium**

La natrémie des chiens sportifs a tendance à diminuer même si ce résultat n'est pas significatif selon le test statistique.

Des possibilités de pseudo-hyponatrémie ou hyponatrémie artéfactuelle ont été décrites, en particulier en cas d'hyperlipidémie ou d'hyperprotéïnémie. Le niveau normal des protéines plasmatiques dans nos dosages permet d'écarter cette possibilité. Le taux de lipides plasmatiques nous étant inconnus, l'éventualité d'une hyperlipidémie ne peut être exclue mais semble peu probable d'autant que la méthode de dosage du sodium utilisée n'a pas fait appel à la photométrie de flamme, classiquement connue pour introduire la possibilité d'un tel artéfact [66].

Cette hyponatrémie liée à l'exercice pourrait être en partie induite, comme cela a été suggéré chez des chiens de traîneau [57], par une augmentation du « turn-over » en eau chez des individus bien entraînés (avec développement d'une hypo-osmolarité plasmatique) ou à une fuite accrue au niveau rénal ou encore à des échanges cellulaires diminués pendant l'effort.

Pour évaluer plus précisément ces variations et en comprendre l'origine, il aurait été utile de pouvoir disposer d'un micro-osmomètre permettant de connaître la pression osmotique plasmatique mais cet appareillage n'était pas disponible dans notre environnement expérimental.

Les valeurs anormalement basses de natrémie relevées chez certains sujets du groupe sédentaire (Kuro, Hyago, Mynavy, Cayak, Jazz et Mooky) y compris avant effort restent, en dehors de ces hypothèses, inexplicables et mériteraient des investigations complémentaires.

- **Potassium**

La kaliémie augmente pour l'ensemble des chiens et elle augmente de façon très significative autant chez les sportifs que chez les sédentaires. Le phénomène est connu et correspond à la libération de  $K^+$  par les muscles se contractant qui favorise diverses adaptations physiologiques lors de l'effort. La conséquence en est une diminution des taux intracellulaires de  $K^+$  musculaires et une augmentation des taux interstitiels et plasmatiques. Après l'exercice les taux intracellulaires de  $K^+$  musculaire sont restaurés et les taux plasmatiques retournent vers

des valeurs normales [71]. Le fait d'avoir réalisé nos prises de sang immédiatement après la réalisation de l'effort nous a permis de mettre en évidence cette variation. Là encore il aurait été intéressant de voir dans quelle mesure le retour à des valeurs normales de kaliémie s'effectue plus ou moins rapidement selon le niveau d'entraînement des sujets (cf intérêt de prises de sang différées après l'effort).

Il a été montré dans d'autres études que le phénomène était atténué chez des individus bien entraînés (par « up-regulation » de la pompe Na/K) mais dans notre cas, la comparaison des kaliémies des groupes sédentaires et entraînés avant et après épreuve ne révèle aucune différence significative ( $p > 0,05$ ). Là encore, il se peut que la différence de niveau d'effort entre les deux groupes n'ait pas permis de mettre en évidence une telle adaptation chez les entraînés (moindre hyperkaliémie à l'effort) ou encore que l'entraînement n'aboutisse pas à une modification sensible du phénomène dans l'espèce canine.

On peut aussi noter que cette adaptation physiologique semble se mettre en œuvre rapidement et pour des intensités d'effort moyennes puisqu'elle est décelée, avec une amplitude comparable aux entraînés, chez les sédentaires effectuant une épreuve à un niveau d'effort relatif beaucoup moins intense que les entraînés.

Des tendances à l'hypokaliémie d'effort ont pu être mises en évidence chez des chiens de traîneau participant à des courses longue distance mais les efforts réalisés et les mécanismes impliqués sont différents (augmentation du « turn over » de l'eau, alcalose respiratoire, pertes urinaires de bicarbonates, etc.) [26, 55].

- **Calcium**

La calcémie diminue significativement pendant le test d'effort chez les chiens sportifs, et demeure significativement inférieure à celle des chiens sédentaires à la fin de l'épreuve. Le phénomène a déjà été décrit chez le chien pour des exercices intermédiaires en agility [67] ou sur des périodes plus longues [68] et plus intenses [74][75]. Il a pu également être observé chez l'homme [76], bien que des résultats contradictoires (donc une augmentation post-effort de la calcémie) aient aussi été rapportés dans cette espèce [69].

La diminution de la calcémie chez les sportifs peut s'expliquer par un transfert du calcium vers les cellules adipeuses associé à l'activation sympathique et à la libération de catécholamines lors d'un stress lié à l'exercice. Elle peut aussi être due à l'augmentation de l'élimination urinaire de calcium associée à l'acidurie. Tous ces éléments étant amplifiés par les corticoïdes plasmatiques libérés lors d'un effort épuisant. Il aurait alors été intéressant de mesurer le cortisol plasmatique des chiens pour mettre en relation leur stress avec l'évolution de la calcémie. [75] L'absence de variation significative de la calcémie post-effort chez les chiens sédentaires est peut-être à mettre en rapport avec une intensité d'effort relative moins importante ou une moindre adaptation à l'exercice physique.

Une augmentation de la calcémie lors d'un exercice peut s'expliquer par une lyse cellulaire au niveau des muscles (rhabdomyolyse), ce qui semble tout de même très peu probable ici par rapport à l'intensité raisonnable des tests d'effort réalisés et le maintien de la calcémie dans la fourchette des valeurs normales [56].

## **f) Fluidité membranaire érythrocytaire**

### **• Temps de corrélation-relaxation (Tc)**

Tc augmente après l'épreuve chez une majorité de sujets entraînés (9/14 soit 65 %) mais la variation s'avère non statistiquement significative (dans le même temps, 5 sujets sur 14 voient leur Tc diminuer après l'effort). Quoiqu'il en soit, cette évolution signifierait une possible diminution de la fluidité membranaire érythrocytaire chez ces sujets, liée à une attaque radicalaire au sein même de la membrane. Celle-ci aboutirait à la création de ponts intra et intermoléculaires, en particulier au niveau des acides gras polyinsaturés de la bicouche, à l'origine de la rigidification de la membrane du globule rouge.

Une telle évolution pourrait s'expliquer de la façon suivante :

→ L'épreuve réalisée a été très intense et a généré un flux radicalaire supérieur aux possibilités des défenses antioxydantes des sujets concernés (normalement augmentées chez les sujets entraînés [Thiébaud JJ et al., données non publiées] [72]) ce qui attesterait d'un niveau d'entraînement insuffisamment protecteur par rapport à l'effort réalisé, et/ou à un apport insuffisant d'antioxydants exogènes dans la ration alimentaire (par exemple, Askja a un Tc qui augmente fortement après l'épreuve).

Cependant le constat d'une diminution de Tc chez d'autres sujets entraînés (5/14 soit 35 %) montre que la fluidité membranaire peut être conservée voire améliorée à l'effort dans certains cas, ce qui conduit à formuler d'autres hypothèses :

→ L'effort réalisé chez ces sujets a généré un flux radicalaire qui a été endigué efficacement par les défenses antioxydantes endogènes, normalement améliorées par l'entraînement en endurance, ou exogènes (apportées par l'alimentation) et a permis à la fluidité membranaire de tendre vers un optimum (notion de fluidité optimum : état physique qui permet un fonctionnement physiologique optimum attaché à toutes les fonctions membranaires [Shinitzky, 1984]). Cette fluidité membranaire optimale pourrait être obtenue grâce à différents phénomènes : mobilisation rapide de modulateurs tels que le cholestérol, modification de la proportion d'Acides Gras Insaturés et d'Acides Gras Saturés (rapport AGi/AGs éventuellement modifié par des désaturases membranaires), modification de la proportion de sphingomyélines par rapport aux phosphatidylcholines et autres phospholipides [Shinitzky, 1984][73].

Le postulat qui découle de cette hypothèse est que le niveau d'entraînement de ces sujets s'est avéré compatible avec le niveau d'effort exigé par l'épreuve réalisée.

L'hétérogénéité des résultats obtenus sur l'ensemble du groupe entraîné et l'absence de significativité statistique peut résulter de plusieurs imprécisions ou biais expérimentaux :

→ Les entraînements auxquels ont été soumis les sujets se sont révélés assez hétérogènes et variables dans leur durée, fréquence, intensité et type d'activité réalisés ce qui peut expliquer en partie les différents niveaux d'adaptation à l'effort imposé dans le groupe des chiens entraînés.

→ Malgré nos efforts de standardisation :

- La durée totale des épreuves a varié de 20 à 30 minutes pour les cas extrêmes du groupe « entraînés » (moyenne du groupe : 25min30sec + 3min).

- Les niveaux relatifs d'efforts demandés ont vraisemblablement varié significativement suivant les sujets. En effet, l'exercice n'était pas demandé à un niveau prédéterminé de FC de réserve mais devait suivre un protocole identique imposé à tous les chiens).
- Bien que de poids comparables, les sujets étaient de races diverses ce qui a pu introduire un facteur de variation supplémentaire.

Enfin, on peut se poser la question de l'adaptation d'une épreuve presque maximale à la mise en évidence de phénomènes peroxydatifs liés principalement au métabolisme aérobie. En effet, la durée choisie (30 minutes) et l'intensité croissante (paliers de 5 minutes) jusqu'à un effort maximal supporté visaient à reproduire, de la façon la plus fidèle possible, une épreuve de canicross de bon niveau. Cependant, l'élévation significative de la lactatémie (voir chapitre discussion sur les lactates) indique que nos sujets entraînés ont tous franchi le seuil anaérobie lactique au cours de l'épreuve et ce au détriment du métabolisme aérobie pourvoyeur d'espèces réactives de l'oxygène. Or, il a été montré que la fluidité membranaire était significativement diminuée chez des beagles sédentaires après des épreuves de 45 minutes à 75 % de la FC de réserve sur tapis roulant [78]. Le recours à des épreuves plus prolongées et moins intenses aurait pu permettre d'obtenir, selon toute vraisemblance, des résultats plus significatifs et homogènes.

En outre, les travaux cités ont également montré que la fluidité membranaire diminuait après un effort aérobie de 45 minutes, immédiatement après l'effort mais également de façon plus significative 1 et 7 jours après l'épreuve, mettant ainsi en évidence l'importance des délais caractérisant la mise en œuvre des chaînes de peroxydation lipidique faisant suite aux attaques radicalaires et la nécessité de mesurer la fluidité membranaire lors des phases de terminaison.

A ce titre il aurait été souhaitable de pouvoir réaliser de tels prélèvements différés lors de nos expérimentations (ce qui s'est avéré impossible du fait de la disponibilité limitée des sujets et de leurs propriétaires et, pour certains d'entre eux, d'un éloignement géographique important).

En ce qui concerne le groupe « sédentaire », à priori plus exposé aux risques de stress oxydant lié à l'exercice, les résultats non significatifs peuvent, en outre, être liés à l'inadaptation des épreuves effectuées puisque certains sujets ne sont parvenus à courir qu'une dizaine de minutes sur le tapis roulant et la plupart n'ont pas dépassé la vitesse de 10 km/h. Là encore, des problèmes de disponibilité des sujets n'ont pas permis d'organiser des séances d'habituation à la course sur tapis roulant qui auraient vraisemblablement permis de meilleures épreuves et donc de meilleurs résultats.

D'une façon générale, le nombre limité de sujets recrutés dans les 2 groupes (en particulier dans le groupe « sédentaire ») a pu aussi contribuer à l'absence de significativité des résultats obtenus.

### • Degré d'ordre « S »

Les mêmes commentaires s'appliquent quant à la non significativité des résultats obtenus quant aux variations de « S » après épreuve (rappelons que « S » rapporte des événements se déroulant dans la zone des têtes polaires des phospholipides).

On note cependant une moindre amplitude des variations de « S » dans le groupe « entraînés » par rapport au groupe « sédentaire » qui peut rendre compte d'une meilleure adaptation des surfaces membranaires érythrocytaires aux variations locales (augmentations modérées du degré d'ordre lors d'attaques radicalaires et diminutions modestes lors de mise en place de phénomènes d'homéoviscosité) chez les sujets sportifs. Cette dernière évolution

concerne 9 sujets sur 15, ce qui semble indiquer une bonne adaptation aux phénomènes peroxydatifs périphériques chez une majorité de sujets entraînés, à l'exception notoire d'un sujet (Jamie) qui présente un accroissement important du paramètre après épreuve. Cette différence entre les deux groupes est d'autant plus notable que, comme déjà évoqué, les sujets du groupe « sédentaire » ont réalisé des épreuves significativement inférieures, en intensité et en durée, aux sujets du groupe « entraînés ».

### **III) DISCUSSION SUR L'EFFORT ET ELABORATION D'UN PLAN D'ENTRAINEMENT RATIONNEL DU CHIEN DE CANICROSS**

#### **1) Les biais de l'étude**

Dans le cadre de l'étude des paramètres physiologiques et biologique de l'effort lors des tests sur tapis roulant, le premier biais se trouve dans la différence d'éducation à la course entre les chiens du groupe « entraîné », habitués à fournir un effort en traction et à être soumis à des conditions nouvelles comme les déplacements sur les lieux de course, et ceux du groupe « sédentaire » qui n'ont jamais fait de canicross. Cependant, parmi le groupe sédentaire, 4 chiens (Mynavy, Cayak, June et Jazz) éduqués au canicross ont pu fournir un effort en traction comparable à celui des chiens du groupe sportif, au moins au début du test d'effort. La différence d'éducation à la course se répercutait également sur la motivation du chien à fournir un effort, notamment lorsque celui-ci augmentait en intensité. En effet, l'effort intense combiné à l'augmentation de la vitesse du tapis roulant générait un stress beaucoup plus important pour le groupe sédentaire. Certains chiens ont arrêté leur test avant d'atteindre une intensité comparable à celle des chiens sportifs, ce qui constitue un biais à prendre en compte dans l'interprétation des valeurs recueillies après l'effort pour ce groupe de chiens.

Un second biais réside dans les différences morphologiques et de race de chiens entre les deux groupes qui influencent la physiologie et les performances lors du test d'effort. Ce biais est quelque peu limité par la présence de races de chiens de chasse dans les deux groupes et par les limites de poids imposées lors de la sélection préalable des sujets pour l'expérimentation.

La sélection des chiens du groupe sédentaire a été plus difficile que pour celle des chiens sportifs du fait des critères de sélection des chiens et des conditions de réalisation du test d'effort. Les propriétaires des chiens de sport sont en demande d'études scientifiques qui pourraient faire évoluer leur sport et ils ont également l'habitude d'effectuer des déplacements pour des courses ou des épreuves comme pour notre test d'effort. De plus, parmi les chiens sédentaires sélectionnés, deux ont dû être retirés des résultats de l'étude parce que leur test d'effort n'était pas interprétable. Par conséquent, le groupe des chiens sédentaire comporte un nombre plus limité de sujets affaiblissant la puissance statistique des résultats de ce groupe et de la comparaison des deux groupes de chiens.

Il est possible que la mesure de la fréquence cardiaque de repos ait également été biaisée. Il aurait fallu que l'ensemble des propriétaires des chiens soient capables de prendre la fréquence cardiaque dans un moment calme à la maison, ce qui n'a pas été le cas pour tous les

propriétaires. La fréquence cardiaque de repos des chiens mesurée avant le test d'effort peut ne pas être fiable pour certains chiens dont l'excitation pour la course sur le tapis et le stress du déplacement sur le lieu d'expérimentation influençait la mesure. De même, la détermination du temps de récupération après l'effort dépend de la valeur de fréquence cardiaque de repos. Puis, après le test, les chiens parvenaient plus ou moins à se calmer et certains gardaient un état d'excitation de la course, ou de stress issu du test d'effort selon les cas. Donc la fiabilité de la mesure du temps de récupération peut également être remise en question.

L'utilisation d'un Holter ECG de médecine humaine pour le monitoring de la fréquence cardiaque a semblé être le choix le plus fiable et le moins invasif pour les chiens dans le cadre de cette étude. Cependant, un tel dispositif n'est pas conçu pour mesurer un signal sur des chiens en mouvement très actifs comme en course et les matériaux des capteurs sont adaptés pour détecter un signal de fréquences cardiaques ne dépassant pas les valeurs maximales de l'homme (240-280bpm pour un cardiofréquencemètre ou un Holter ECG humain, or la FC max d'un chien peut être supérieure à 300 bpm). Lors des tests d'effort et selon les chiens, le signal était plus ou moins altéré par des bruits dus aux mouvements du chien, et possiblement liés à la mobilité de la peau et des électrodes variables d'un chien à l'autre. Dans la majorité des cas, le signal pour la fréquence cardiaque était tout de même exploitable pour des fréquences inférieures à 280 battements par minutes. Pour tous les chiens ayant atteint une grande intensité d'effort et une fréquence cardiaque supérieure à 280 bpm le signal était totalement illisible même pour la détermination de la fréquence cardiaque, le signal étant récupéré lorsque la fréquence cardiaque baissait à nouveau pendant la phase de récupération du chien. Ainsi, les fréquences cardiaques maximales des chiens supérieures à 280 bpm n'ont pas pu être déterminées.

Par rapport au protocole de test d'effort, et conscients du fait que les sédentaires seraient selon toute vraisemblance moins performants que les sujets entraînés, nous avons prévu initialement de faire travailler les sujets à des niveaux équivalents d'effort relatif. Sachant que la FC croit proportionnellement à la  $VO_2$  pour des valeurs de l'ordre de 50 à 85 % de la  $VO_{2max}$ , il est donc possible à partir de la mesure de la FC et en réalisant une approximation de faire travailler des sujets à une même intensité relative d'effort c'est à dire à un niveau identique vis-à-vis de leur capacités maximales. Ainsi à partir de la FC de réserve ( $FC_r = FC_{max} - FC_{repos}$ ) pour chaque individu, on peut cibler la FC à atteindre pour la réalisation d'efforts comparables entre sujets d'aptitudes différentes.

*Par exemple : si on veut réaliser un effort à 50 % de sa  $FC_r$ , la FC de travail ( $FC_w$ ) qu'il faudra atteindre sera :*

$$FC_w (50\%) = (FC_{réserve} \times 50\%) + FC_{repos} = 0,5 \times (FC_{max} - FC_{repos}) + FC_{repos}.$$

Ainsi en faisant travailler les sujets au même pourcentage de leur FC de réserve (donc à des FC différentes suivant les sujets) on obtient des niveaux d'effort comparables. Cependant, ce protocole n'a pu être réalisé en pratique pour les raisons suivantes :

- Difficultés de détermination de la FC repos évoquées plus haut (conditions de prise de la mesure)
- Difficultés de détermination de la FC max évoquées plus haut (holter ECG humain utilisé en mouvement).



- Difficulté de suivi de la FC à l'effort. Les valeurs de FC recueillies par le Holter ECG ont été lues seulement à posteriori à l'analyse des ECG par le logiciel. Il faudrait, pour ce type d'exercice, un cardiofréquencemètre en temps réel pour cibler la FC correspondante à l'intensité d'effort souhaitée.

Pour finir, afin d'être au plus proche des pics de sécrétion des paramètres musculaires et de pouvoir quantifier les dommages cellulaires des muscles de façon plus précise, il aurait été intéressant de doser certains paramètres plus tardivement : par exemple les CK entre 3 et 8h après le test d'effort, la protéine C réactive (CRP) après 24h, l'ASAT et LDH après 12h. De même, comme cité dans le paragraphe précédent sur la fluidité membranaire, il aurait été intéressant de mesurer Tc et S au moins 24h après l'effort puisque la fluidité membranaire semble diminuer entre 1 et 7 jours post exercice. Cependant, les propriétaires auraient du pouvoir se rendre disponibles à ces moments post effort pour une prise de sang et cela était compliqué à réaliser en pratique. Les prélèvements directement après le test d'effort constituent seulement des indices précoces quant à l'évolution de ces paramètres suite au stress induit par l'épreuve d'effort maximal.

## **2) Eléments d'entraînement favorables à l'adaptation à un effort de canicross (Annexe 3)**

L'ensemble des chiens évalués lors de cette étude dans le groupe sportif ont réalisé en moyenne 3 entraînements hebdomadaires pendant la période de préparation précédant le test d'effort.

### **a) Chiens entraînés avec des séances en fractionné**

Helika et Hopla sont les deux seules chiennes à ne pas avoir inclus dans leur planning d'entraînement de séances en grande vitesse permise par des entraînements de bike-joering, ski-joering ou traîneau. Cependant, leur préparation basée sur des séances de canicross incluant des séances « fractionnées » leur a permis d'obtenir des résultats au test d'effort comparables aux autres chiens.

Abys, Jamie, Helika et Hopla ont été préparés au test d'effort en incluant des séances de travail en fractionné en suivant les indications du plan de l'Annexe 1. Cependant, leur performance au test d'effort ne s'est pas démarquée de celles des autres chiens ayant réalisé une préparation avec des entraînements en continu uniquement.

D'un point de vue physiologique cependant, la lactatémie des chiens ayant effectué une préparation en fractionné s'est prouvée (mais avec un très faible effectif) inférieure après l'effort en comparaison aux autres chiens entraînés avec un plan d'entraînement en continu. De plus, même si les valeurs de créatinine kinase et de lactate déshydrogénases étaient comparable avec les deux types d'entraînement, on note des ASAT après effort moindres chez les sujets ayant eu un entraînement fractionné. Ainsi l'entraînement en fractionné pourrait bien avoir un intérêt dans la prévention des microlésions musculaires et pourrait contribuer à diminuer le stress de l'organisme lors de la réalisation d'un effort intense comme en compétition.

## **b) Chiens entraînés avec des séances en continu uniquement**

Les chiens de Cindy Duport (Spike, Nova, Leader et Roméo) ont réalisé les meilleures performances en terminant presque tous les 4 le dernier palier à 17 km/h et 15 % de pente réalisant un effort d'une durée totale de 30 minutes. Leur entraînement est basé sur des séances en continu de canicross, bike-joering, cani-trotinette, et de sorties en liberté. Les chiens de Mélanie Vermot (KJ, Kyana, Kanakin et Kiska) entraînés avec des séances en continu de ski-joering et de traîneau ont également réalisé de bonnes performances en atteignant au minimum la moitié du palier à 17 km/h et 10 % de pente. Les entraînements en continu de Cindy et Mélanie étaient tous d'une distance de 4 à 8 km et réalisés à de fortes intensités.

On peut en conclure que les plans d'entraînements suivants peuvent permettre d'acquérir un niveau équivalent de performance :

- séances en fractionné en canicross uniquement ou avec de la vitesse (Bike-joering, ski-joering, trotinette, traîneau etc.)
- séances en continu mais avec des séances très intenses en vitesse (Bike-joering, ski-joering, trotinette, traîneau etc.).

Remarque : Le plan d'entraînement incluant uniquement des séances en continu en canicross n'a pas été étudié ici.

## **c) Alimentation du chien sportif**

Les chiens sportifs avaient tous une alimentation contenant un minimum de 25 % de protéines et 24.5 % de matière grasse pour les croquettes Belcando active® (alimentation de Jamie). La ration BARF (composée principalement de viande de bœuf, carcasse de poulet, cou de poulet et de dinde, quelques abas, œufs et sardines) des 4 chiens de Mélanie n'a pas semblé influencer leurs performances. Rappelons quand même que toute ration ménagère doit être soigneusement pensée afin de respecter les besoins en macro et micronutriments du chien (attention notamment au rapport Ca/P et aux quantités de vitamines qui pourraient engendrer des pathologies).

Les croquettes Royal Canin 4300® qui composent la ration des chiens de Cindy sont celles dont la composition en protéines et en matières grasses se rapproche le plus des pourcentages recommandés pour des chiens de sport (28 % de protéine, 21 % de matière grasse). Les résultats des ionogrammes (Na, K, Cl) semblent mettre en évidence une perte en sodium chez les chiens du groupe sportifs induisant un déficit chez 5 chiens sur les 15 de l'étude. Bien que non indispensable, une supplémentation en électrolytes, et notamment en sodium après l'effort, pourrait aider à compenser les pertes potentielles liées à la réalisation d'un effort maximal. Attention à utiliser uniquement des préparations industrielles adaptées aux chiens car les boissons commercialisées pour l'homme pourraient s'avérer dangereuses pour le chien.

### **3) Recommandations d'entraînement et proposition d'un plan d'entraînement de canicross**

A l'issu des résultats de notre étude, nous pouvons émettre quelques recommandations à prendre en compte lors de la réalisation du planning d'entraînement. Inscrit dans un document consultable à tout moment, le planning permet de suivre de près la progression du chien et de prendre du recul par rapport aux entraînements sur le terrain.

#### **a) Détermination de l'objectif et de la période préparatoire**

La détermination d'une ou de plusieurs courses de canicross (objectifs) établi un profil de terrain, de vitesse et de traction sur lesquels il faudra focaliser la préparation. Rappelons que l'entraînement ne concerne que les chiens ne comportant aucune maladie ou affection orthopédique pour lesquelles l'effort physique est contre-indiqué, et un entraînement tel que décrit dans ce paragraphe ne concerne que des chiens dont la croissance osseuse est achevée (12-15 mois selon les chiens). Si nécessaire, une radiographie des cartilages de croissance chez le vétérinaire permet d'évaluer la croissance du chiot et d'en déterminer la fin.

Pour constater une amélioration des performances, il faudra prévoir au minimum 4 semaines de préparation avant l'objectif (5-6 semaines pour développer l'endurance [44]). Un chien débutant les sports de traction a besoin d'une période de préparation beaucoup plus longue pour atteindre un niveau de performance proche de ses réelles capacités et aussi pour éviter les blessures musculaires et tendineuses. En effet, le temps d'adaptation du système musculo-tendineux pour se renforcer est plus long que celui de l'adaptation du métabolisme énergétique (8 à 12 semaines au minimum chez l'homme [58]). Plus la préparation est lente et progressive, plus les adaptations à l'effort acquises mettront du temps à disparaître lors d'une période d'inactivité, et meilleure sera la reprise sportive ensuite.

#### **b) Typologie des séances d'entraînement**

Pour que la charge d'activité soit suffisante pour induire une adaptation à l'effort et une progression dans les performances, à minima 3 entraînements hebdomadaires sont nécessaires. On identifiera pour chaque séance d'entraînement leurs qualités de travail en puissance, développant la force musculaire, en endurance pour la capacité à maintenir l'effort pendant toute la durée de l'épreuve, et de travail de la filière métabolique énergétique aérobie ou anaérobie. Les séances sont soit dites « en fractionné » lorsque l'entraînement comporte des exercices composés d'intervalles de courses rapides entrecoupées de périodes de récupération dont les durées et le nombre de répétitions sont bien définis, soit dites « en continu » lorsque le travail en course est ininterrompu.

Les entraînements se réalisent d'une part en canicross pour l'éducation du chien et son travail spécifique sur la discipline, puis d'autre part par des entraînements en bike-joering, ski-joering ou cani-trottinette (etc.) qui se sont avérés très efficaces dans notre étude pour l'amélioration des performances. La cani-trottinette en mono-chien, un peu moins couramment pratiquée que le bike-joering, est un peu moins rapide et permet de travailler un peu plus en puissance. Le travail en fractionné n'est pas indispensable et les séances en continu à haute intensité sont suffisantes à l'adaptation des chiens à l'effort et l'amélioration des performances. Cependant, notre étude a prouvé l'efficacité des séances de fractionné en canicross (chez Hopla

et Helika) qui peuvent être bénéfiques pour des chiens très actifs et motivés par l'alternance des intervalles intenses et de récupération. Elles permettent notamment d'augmenter l'intensité de l'effort et selon la durée et le nombre des répétitions, de travailler spécifiquement les différentes filières métaboliques.

La préparation physique du chien à la compétition doit rester un plaisir pour lui et chaque entraînement doit être vécu positivement. Les séances ne devront pas être trop intenses ou répétitives afin de ne pas altérer la volonté de courir du chien.

### **c) Repos et récupération**

Afin de prévenir le surentraînement, au minimum 2 jours de repos sont à intégrer par semaine d'entraînement, et à disposer en priorité après les séances les plus éprouvantes. Il est important d'évaluer l'état de fatigue et l'absence de boiterie ou de blessures avant et après chaque entraînement et ne pas hésiter à modifier le planning d'entraînement si nécessaire. Le surentraînement peut se manifester par une perturbation du sommeil, de l'excitation, une hypersensibilité auditive, une baisse d'appétit, une tendance à la tachycardie et à l'hyperthermie, une augmentation de la fréquence cardiaque de repos, une plus grande fatigabilité à l'entraînement et un temps de récupération augmenté [44]. Il peut être judicieux de mesurer la fréquence cardiaque de repos au calme, régulièrement et toujours au même moment de la journée afin de repérer une augmentation et mettre en évidence le surentraînement.

La récupération entre les séances d'entraînement peut comprendre des sorties en balade et en liberté (contrôlée et dans un environnement sécurisé) ainsi que des séances d'étirements, des massages et de la cryothérapie afin de favoriser la reconstitution des cellules musculaires et prévenir l'apparition de courbatures.

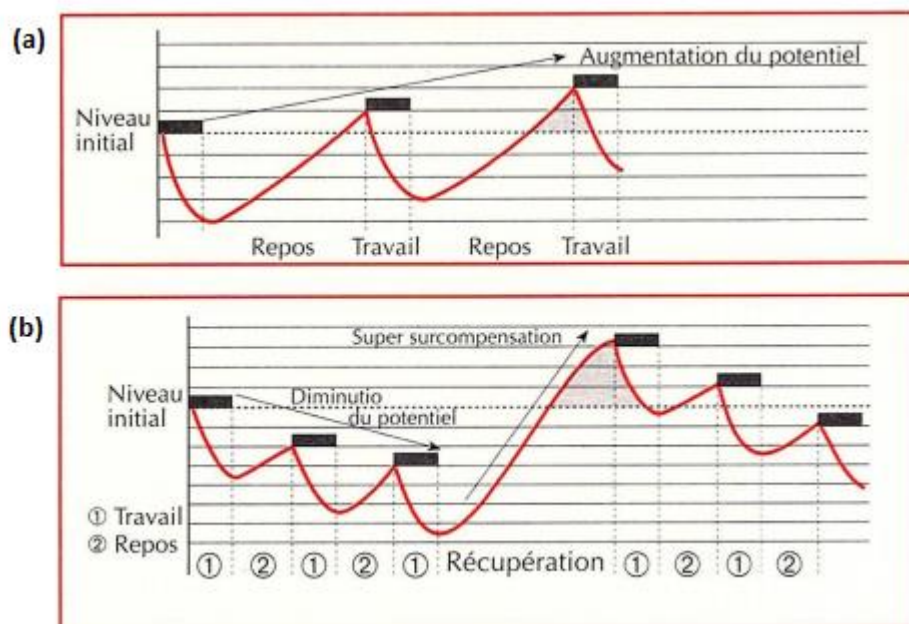
### **d) Environnement de travail**

Le terrain d'entraînement est choisi en fonction du profil de la course de l'objectif. Si le parcours de la course représente une distance de 4 à 6 km sur chemins larges et sans dénivelé, les entraînements devront se concentrer sur la vitesse. Alors qu'un parcours de 8 km en montagne avec beaucoup de dénivelé sur des chemins étroits et accidentés devra être préparé en incorporant des séances en montées et descentes sur des sentiers similaires. Cependant, le travail de la vitesse reste bénéfique pour les courses en montagne, de même que les séances de côtes peuvent améliorer la puissance et augmenter l'intensité des séances de préparation à un parcours rapide.

Il est intéressant de varier les terrains et les lieux d'entraînement pour entretenir la motivation du chien pour fournir un effort. Les entraînements collectifs, comme par exemple les sorties organisées par les clubs, sont un moyen efficace pour motiver les chiens, notamment les chiens débutants en canicross. Ils sont également une bonne occasion de travailler les ordres, les départs de course et les dépassements des autres binômes de canicross.

### e) Progressivité du plan d'entraînement

La programmation de l'entraînement chez l'homme et le chien se base sur des principes qui ne reposent pas sur des preuves expérimentales très solides. Le principe est, selon Matveiv, que les exercices qui sollicitent fortement les réserves énergétiques et qui entraînent une fatigue aigüe permettent une amélioration du potentiel initial par des phénomènes de « surcompensation ». Comme représenté sur la figure 73, la sommation des séances permet une augmentation du potentiel de l'individu et la sommation de séances rapprochées entrecoupées judicieusement de périodes de repos provoque une fatigue puis un phénomène de « surcompensation » qui augmente encore plus le potentiel. [60]



*Figure 73 : Augmentation du potentiel avec la sommation des séances d'entraînement (a) et phénomène de surcompensation avec des séances rapprochées suivies d'une période prolongée de récupération (b).* [60]

Physiologiquement ce principe peut s'expliquer par l'adaptation progressive de l'organisme à l'effort induit par une charge d'entraînement suffisamment élevée et générée par l'enchaînement des séances, puis le repos permet de reconstituer les réserves énergétiques et restituer les cellules musculaires lésées afin de pouvoir reprendre des entraînements intensifs efficaces et poursuivre l'adaptation à l'effort.

Le plan d'entraînement est donc construit selon ce principe et respecte une progression dans l'intensité des séances et dans le volume de travail par semaine. Les cycles de progression durent 3 à 4 semaines et peuvent aboutir sur une course intermédiaire, puis quelques jours de repos ou d'entraînements en faible intensité sont programmés avant de reprendre un nouveau cycle de progression dans le but de provoquer le phénomène de surcompensation et une augmentation plus efficace des performances. Le principe de Matveiv peut également s'appliquer sur une semaine où l'on va par exemple enchaîner 3 jours d'entraînement puis réserver les 2 ou 3 jours suivants au repos avant de reprendre l'entraînement pour bénéficier de la surcompensation.

A l'approche de l'objectif, la semaine précédant la compétition doit être consacrée à la restitution des réserves énergétiques et à la récupération. Elle comporte des petites séances en course continue uniquement et les 3 derniers jours sont consacrés au repos, avec des sorties de

balade en laisse ou en liberté. La récupération et la motivation du chien le jour de la compétition sont alors intégrés pour la réalisation d'une performance optimale.

Pendant la période de préparation intensive pour la course, le chien doit bénéficier d'une alimentation spécifique composée d'un minimum de 25 % de protéines de bonnes qualités et d'un minimum de 18 % de matière grasse. L'alimentation est à adapter en fonction du poids du chien, de sa race, s'il est stérilisé ou non et en fonction de sa digestion de l'aliment évaluable par l'aspect des selles et par l'évolution de son score corporel (Body Condition Score). Tout au long de la période d'entraînement, l'état d'embonpoint du chien doit être évalué pour adapter l'apport calorique aux besoins qui peuvent varier selon l'intensité de la préparation physique. Une bonne hydratation autour des entraînements est également primordiale et une supplémentation en électrolytes et glucides peut être envisagée (bien que non indispensable) pour une meilleure récupération du chien après l'effort.

### **f) Proposition d'un plan d'entraînement**

A titre d'exemple, un plan d'entraînement en 8 semaines pour un objectif de canicross de 5 kilomètres en 18 minutes sur un terrain sans dénivelé est proposé dans le tableau 21. Pour un chien débutant, il conviendra de commencer par des sorties en canicross en courses continues et très progressives sur plusieurs semaines voire mois, ainsi que de travailler sur son éducation et sa motivation à tracter.

Un entraînement comporte tout d'abord un échauffement d'au minimum 15 minutes lors duquel le chien marche et fait ses besoins, puis trotte et mobilise ses muscles et articulations progressivement. La séance est notée sur le planning en minutes ou kilomètres à parcourir dans le cas des séances en continu, avec précision de l'intensité de l'effort et de la vitesse approximative de course. Une séance de fractionnée indique le nombre de série et de répétitions, leur durée, ainsi que le temps de repos entre les répétitions et les séries. Par exemple, *2 séries de 8x40''30''|R1 min* signifie courir 40 secondes à haute intensité et récupérer au petit trot 30 secondes et recommencer 8 fois, à l'issue de la série de 8, récupérer 2 minutes avant de commencer la 2<sup>ème</sup> série de 8x40''/30''. Une séance notée type VTT signifie qu'elle doit être réalisée en vitesse comme en bike-joering, en cani-trottinette ou en ski-joering. La séance est suivie d'une récupération d'environ 10 minutes où le chien marche ou trottine légèrement afin de détendre les muscles et permettre à l'organisme de retrouver progressivement un état de repos.

Pour respecter la progressivité dans le planning d'entraînement, la **semaine 1** comporte uniquement des séances en course continue en vitesse faible en canicross et une séance en vitesse élevée mais sur une distance de 3 km seulement. Le choix des jours de repos est indiqué dans la colonne de droite *Indications/Explications*. La **semaine 2** introduit des séances en fractionné courtes et intenses pour les chiens à qui cela conviendrait et dans le cas contraire, il est possible de remplacer les séances de fractionné courtes par des séances continues intenses (rapides ou avec une traction forte). La durée de la séance en canicross en faible intensité est aussi augmentée. Lors de la **semaine 3**, on retrouve une séance de fractionné courte ainsi qu'une séance en VTT en fractionné long à vitesse modérée pour travailler l'aptitude des chiens à tenir une cadence de course plus intense sur de plus longues distances (qualité d'endurance). La **semaine 4** est moins intense et ne comporte que des séances continues en vue de la compétition préparatoire de la fin de la semaine. Elle marque aussi la fin d'un premier cycle de préparation et la compétition qui la termine marque le début d'un autre cycle. La course devrait parcourir

une boucle d'environ 5 km à réaliser à une vitesse d'environ 15-16 km/h. Les indications de vitesse sont des repères de progression pour atteindre l'objectif de 5 km à 18 km/h à l'issue de la préparation. Lors des semaines 5, 6 et 7, la durée et la vitesse des entraînements en continu sont augmentées progressivement jusqu'à approximativement 1h à 14 km/h en canicross et 6 km en VTT à une vitesse d'environ 25 km/h. La **semaine 5** inclue une séance en fractionné, la **semaine 6** inclue 2 séances en fractionné et la **semaine 7** comporte 4 séances d'entraînement dont 2 en fractionné pour accroître encore la charge de travail. La **semaine 8** est la semaine avant l'objectif final et ne comporte que des séances en continu de courte durée mais à une allure soutenue pour ne pas habituer le chien à une vitesse de course plus basse que celle prévue pour la compétition. Il est important de veiller au bon repos du chien et à une bonne alimentation et hydratation pour que sa récupération avant la course soit complète.

Les adaptations acquises lors de cette préparation physique seront maintenues par la poursuite d'une activité régulière (une à deux fois par semaine au minimum) même faiblement intense et l'arrêt total de l'entraînement est à éviter autant que possible, sauf en cas de blessure ou de grande fatigue.

	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4 (facultative)	Indications/Explications
<b>Semaine n°1</b>	20 min	3 km	20 min	Aucune	La première semaine se compose uniquement de séances en continu Respecter 2 jours de repos entre la séance 2 et 3
<b>Intensité / vitesse</b>	faible/12km/h	modérée / 20km/h	faible / 12km/h		
<b>type de séance</b>	Canicross	VTT	Canicross		
<b>spécificité</b>	endurance	vitesse	endurance		
<b>Semaine n°2</b>					Introduction des séances fractionnées, si cela est adapté au chien Sinon remplacer les séances de fractionné courtes par des séances continues intenses. 2 jours de repos entre la séance 1 et 2
<b>Intensité / vitesse</b>	2 séries de 7x30"/30"   R1min Elevé	3 km modéré / 20km/h	30 min faible 12 km/h	Aucune	
<b>type de séance</b>	Canicross	VTT	Canicross		
<b>spécificité</b>	Fractionné court, puissance	vitesse	endurance		
<b>Semaine n°3</b>					Respecter 1 jour de repos entre la séance 1 et 2.
<b>Intensité / vitesse</b>	2 séries de 6x40"x30"   R2min Elevé sur les 40"	30 min moyen / 14km/h	3x5min   R3min vitesse modéré / 20km/h	Aucune	
<b>type de séance</b>	Canicross	Canicross	VTT		
<b>spécificité</b>	Fractionné court, puissance	endurance	Fractionné long, endurance		
<b>Semaine n°4</b>					La course doit être équivalente à celle prévue en objectif final. Respecter une journée de repos après la course
<b>Intensité / vitesse</b>	30 min moyen / 14km/h	3 km modéré / 20km/h	2 jours minimum de repos	<b>COURSE DE CANICROSS intermédiaire</b> environ 5 km	
<b>type de séance</b>	Canicross	VTT	faible 15 km/h (objectif)		
<b>spécificité</b>	endurance	vitesse			
<b>Semaine n°5</b>					La séance 3 peut s'effectuer en côtes pour augmenter la charge d'entraînement. Au contraire, pour diminuer la charge il est possible de remplacer un entraînement par une séance de récupération active ou par du repos. Les semaines 6 et 7 comportent 4 séances. La séance 3 peut s'effectuer en côtes pour augmenter la charge.
<b>Intensité / vitesse</b>	30 min Moyen / 14km/h	4km élevée / 25km/h	2 séries de 10x30"/30"   R1min Elevé	Aucune	
<b>type de séance</b>	Canicross	VTT	Canicross		
<b>spécificité</b>	Séance de récupération active	vitesse	Fractionné court, puissance		
<b>Semaine n°6</b>					
<b>Intensité / vitesse</b>	3x8 min   R 2min allure de course/ 16-17km/h	45min Moyen / 14km/h	2 séries de 8x 40"/20"   R2min Elevé	6 km élevée / 25km/h	
<b>type de séance</b>	Canicross	Canicross	Canicross, en côte	VTT	
<b>spécificité</b>	Fractionné long	endurance	Fractionné court, puissance	vitesse	
<b>Semaine n°7</b>					
<b>Intensité / vitesse</b>	2 séries de 8x1/1'   R3min Elevé	1h Moyen/ 14km/h	6 km élevée/ 25km/h	2x 10min   R3min Allure de course / 16-17km/h	
<b>type de séance</b>	Canicross	Canicross	Canicross	Canicross	
<b>spécificité</b>	Fractionné court	endurance	Vitesse	Fractionné long	
<b>Semaine n°8</b>					SEMAINE DE L'OBJECTIF très allégée La séance 2 est facultative en fonction des besoins de récupération du chien.
<b>Intensité / vitesse</b>	20min moyenne / 15 km/h	20 min moyenne / 15km/h	2 jours minimum de repos	<b>OBJECTIF CANICROSS</b>	
<b>type</b>	Canicross	Canicross			
<b>spécificité</b>	séance pré-course	séance pré-course			

Tableau 21 : Proposition d'un plan d'entraînement.



# CONCLUSION

Depuis quelques années, le canicross se développe de façon remarquable en France avec un nombre d'adhérents aux différentes fédérations, représentées par la FSLC et la FFST, qui augmente très rapidement. Avec cette tendance, émergent des objectifs différents allant de la simple sortie pour exercer son chien jusqu'à un objectif de performance y compris de haut niveau avec les championnats. Les canicrosses, ciblant les courses locales ou les courses nationales et internationales, sont soucieux de préparer au mieux leur binôme à la course pour tout d'abord courir avec une condition physique adaptée, et ensuite dans l'espoir d'atteindre leur objectif de performance. Le travail de préparation chez l'homme est basé sur un planning d'entraînement de course en continu et en fractionné comme c'est le cas pour les courses de demi-fond en athlétisme. Actuellement, le chien sportif est préparé selon des théories diverses, avec souvent pour exemple l'entraînement de l'homme et surtout selon le ressenti qu'a le maître pour son chien au cours des entraînements. Cependant, malgré de nombreux points communs, et selon toute vraisemblance, un plan d'entraînement spécifique pour l'homme ne sera pas optimal pour la préparation du chien.

Une étude des performances réalisées lors de tests d'efforts sur tapis roulant, ainsi que l'analyse de paramètres biochimiques et de mesure indirecte du stress oxydant par l'étude de la fluidité membranaire érythrocytaire avant et après l'effort, nous a permis d'objectiver l'adaptation plus ou moins grande des chiens de canicross soumis à différentes méthodes d'entraînements. Les tests d'effort ont été réalisés sur un tapis roulant grande vitesse avec une progression par paliers de 5 minutes et augmentation progressive de la pente et de la vitesse. Le but des tests était d'amener les chiens à un effort maximal avec une durée d'effort n'excédant pas 30 minutes afin de mimer au mieux les conditions d'une course de canicross. Ainsi, deux groupes de chiens ont été comparés, le premier groupe constitué de chiens très entraînés et performants (groupe « entraîné ») et le deuxième groupe constitué de chiens de race comparables au groupe précédent mais n'ayant pas ou peu de préparation physique (groupe « sédentaire »). Les chiens non sportifs et non éduqués à la course, n'ont souvent pas été capables d'atteindre un effort maximal lors de leur test sur le tapis, ce qui a induit le principal biais de cette étude.

Les résultats nous ont permis de constater d'une part la grande différence de performance entre les chiens entraînés et non entraînés, et d'autre part une adaptation physiologique procurée par l'entraînement, se traduisant par une résistance aux lactates sanguins produits lors d'un effort maximal et par une résistance au stress oxydant généré par la production des radicaux libres. Aucune différence significative n'a été démontrée sur les performances de chiens ayant un plan d'entraînement comprenant des séances de type « fractionné » par rapport à des chiens ayant eu uniquement des séances d'entraînement de type « continu ». Cependant, selon le tempérament du chien il semble qu'il pourrait être bénéfique et stimulant d'incorporer des séances différentes « fractionnées » afin d'augmenter l'intensité de l'effort fourni. Au terme de ce travail expérimental, un exemple de planning d'entraînement est proposé, respectant la progressivité dans l'intensité des séances mais également les périodes de repos nécessaires pour prévenir le surentraînement. A cette occasion il est rappelé l'importance de l'entretien de la motivation du chien par l'aspect ludique et varié des entraînements par le renforcement positif des activités pratiquées, mais également de l'observation d'éventuels signes de fatigue excessive afin de réadapter à tout moment le planning proposé aux besoins de récupération des sujets.

Thèse de M/Mme FOUBERT Lise

Le Professeur responsable  
VetAgro Sup campus vétérinaire

Le Président de la thèse

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le

L'Administrateur Provisoire de Lyon 1  
Monsieur Frédéric FLEURY

Le Directeur général  
VetAgro Sup

Par Délégation  
Hélène AGLÈSSE  
Directrice de l'Enseignement  
et de la Vie Étudiante  
VetAgro Sup campus Vétérinaire

le 27/09/2020  
Le Doyen de la Faculté de Médecine Lyon Est  
Professeur Gilles RODE





# BIBLIOGRAPHIE

1. **Baltzer W. I., Firshman A. M., Stang B., Warnock J. J., Gorman E., et al.** (2012). The Effect of Agility Exercise on Eicosanoid Excretion, Oxidant Status, and Plasma Lactate in Dogs. *BMC Veterinary Research* 8 : 249.
3. **Ready A. E., et Morgan G.** (1984). The Physiological Response of Siberian Husky Dogs to Exercise: Effect of Interval Training. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne* 25, n° 2 : 86-91.
4. **Väihkönen L. K., Heinonen O. J., Hyyppä S., Nieminen M., et Pösö A. R.** (2001). Lactate-Transport Activity in RBCs of Trained and Untrained Individuals from Four Racing Species. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 281, n° 1 : 19-24.
5. **Wakshlag J. J., Snedden K., et Reynolds A. J.** (2004). Biochemical and Metabolic Changes Due to Exercise in Sprint-Racing Sled Dogs: Implications for Postexercise Carbohydrate Supplements and Hydration Management. *Veterinary Therapeutics: Research in Applied Veterinary Medicine* 5, n° 1: 52-59.
6. **Talbot J-P.** (2015). *Canicross, bike-jöring : mode d'emploi.*
7. ICF, International Canicross Federation. Article ICF (2016). *Site de l'ICF.* URL : <http://www.canicross.international/site/> (Consulté le 20 mars 2020).
8. **Machecourt F.** (2018). *Faites du sport avec votre chien.* Edilivre.
9. **Fontaney A.** (2019). *Enquête auprès des licenciés français sur leur pratique du canicross et aptitudes génétiques des races canines.* Thèse de doctorat vétérinaire. Lyon : Université Claude Bernard, 171p.
10. **FOURIEZ - LABLÉE V.** (2004). *Les affections musculaires chez le chien de sport.* Thèse de doctorat vétérinaire. La faculté de médecine de Créteil, 83p.
11. **J.-M. Coudreuse.** (2012). Pathologies musculaires du sportif. *Revue AKOS (Traité de médecine).* Pôle de médecine physique et de réadaptation de l'hôpital Salvator de Marseille.
12. **Rizzi C. F., Mauriz J. L., Freitas Corrêa D. S., et al.** (2006). Effects of Low-Level Laser Therapy (LLLT) on the Nuclear Factor (NF)-KB Signaling Pathway in Traumatized Muscle. *Lasers in Surgery and Medicine* 38, n° 7 : 704-13.
13. Le dopage involontaire. Article FSLC. *Site de la FSLC.* URL : <https://www.fslc-canicross.net/fiches-veterinaires/> (Consulté le 20 mars 2020).
14. Dopage information sur les compléments et les médicaments. Article FFST. *Site de la FFST.* URL : <https://www.ffst.info/evenements/les-courses/reglementation/> (Consulté le 20 mars 2020).
15. Dopage liste 2016 de médicaments interdites pour les chiens. Article FFST. *Site de la FFST.* URL : <https://www.ffst.info/evenements/les-courses/reglementation/> (Consulté le 20 mars 2020).
16. **Billat V.** *Physiologie & méthodologie de l'entraînement, de la pratique à la théorie.* 4ème édition. De boeck supérieur, s. d.
17. **Peycru P.** (2010). *Biologie Tout-en-un BCPST 2ème année. 2ème édition.* Dunod. J'intègre.
18. **Paragon B.M.** (1991). *Médecine sportive canine.* N° numéro spécial d'août 1991.
19. **Lévesque A-M., et Guy T.** Effets bénéfiques de l'entraînement des muscles respiratoires. Article Kino-Québec. Fiche 190.
21. **Peycru P.** (2009). *Biologie, Tout-en-un BCPST 1ère année. 2ème édition.* Dunod. J'intègre.
22. **Miller B. F., Drake J. C. et al.** (2015). Participation in a 1,000-Mile Race Increases the Oxidation of Carbohydrate in Alaskan Sled Dogs. *Journal of Applied Physiology* 118, n° 12 : 1502-9.
23. **Savel P.** (2013). *Intérêt d'une nutrition riche en lipides chez les chiens de canicross.* Thèse de doctorat vétérinaire. Lyon : Université Claude BERNARD, 108p.
24. **Verson T.** Physiologie de l'exercice. La dette en oxygène. URL : [http://t.verson.free.fr/PHYSIOLOGIE/PHYSIOLOGIE\\_EXERCICE/PHYSIO-EXERC.htm#\\_Toc423500273](http://t.verson.free.fr/PHYSIOLOGIE/PHYSIOLOGIE_EXERCICE/PHYSIO-EXERC.htm#_Toc423500273). (Consulté le 27 mars 2020)
25. **Børshheim E., Bahr R.** (2003). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine.* Norwegian University of Sport and Physical Education, Oslo, Norway.
26. **Coste A.** (2010). *Impact de la chaleur sur le travail du chien de canicross.* Thèse de doctorat vétérinaire. Faculté de médecine de Créteil, 118p.
27. **Buehlmann, A.A.** (1979). Temperature regulation and heat balance. *Pathophysiology, de A.A. BUEHLMANN et E.R. FROESCH,* 81-85. New-York: Springer-Verlag.

28. **Gondim F. J., Zoppi C.C., Pereira-da-Silva L. et al.** (2007). Determination of the anaerobic threshold and maximal lactate steady state speed in equines using the lactate minimum speed protocol. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, p375-380.
29. **Grandjean D.** (2005). Le stress oxydatif cellulaire chez le chien, conséquences pathologiques. *Le nouveau praticien vétérinaire canine-féline*, n°22.
30. L'oxygène - L'atome d'oxygène. *Site internet de UNICIEL Université en ligne*. URL : [http://uel.unisciel.fr/chimie/elementspl/elementspl\\_ch03/co/chapitre3\\_04.html](http://uel.unisciel.fr/chimie/elementspl/elementspl_ch03/co/chapitre3_04.html). (Consulté le 22 février 2020).
31. **Vergely-Vandriess C.** *Espèces réactives de l'oxygène et de l'azote et stress nitro-oxydant : Identification et implications au niveau cardiovasculaire*. Université de Dijon.
32. **Tissier M.** (2011). *Contribution à l'étude du stress oxydant chez le chien de cross canin*. Thèse de doctorat vétérinaire. Lyon : Université Claude-Bernard, 180p.
33. **Grandjean D.** (2005). Le stress oxydatif cellulaire chez le chien : conséquences pathologiques. *Le nouveau praticien vétérinaire canine-féline*, n°22.
34. **Grandjean D.** (2005). Modèle d'étude du stress oxydatif cellulaire : le chien de travail en environnement extrême. *Le nouveau praticien vétérinaire canine-féline*, n°22.
35. **Grandjean D.** (2005). Le stress oxydatif cellulaire chez le chien : conséquence et prévention nutritionnelle. *Le nouveau praticien vétérinaire canine-féline*, n°22.
36. **Clero D.** (2016). Nutrition et hydratation : mots clés de la performance et de la prévention chez le chien de traîneau. Unité de médecine de l'élevage et du sport (UMES).
37. **Lefebvre S.** (2019). *Bromatologie des aliments industriels à destination du chien et du chat*. École thématique. France.
38. **Hill R. C., Fascetti A. J., et Delaney S. J.** (2012). Nutritional and Energy Requirements for Performance. Chapter 4 in *Applied Veterinary Clinical Nutrition*. Wiley Blackwell.
39. **Geeraerts T., et Vigué B.** (2007). Température cérébrale : physiologie et intérêt de sa surveillance. *La réanimation neurochirurgicale*, édité par Nicolas Bruder, Patrick Ravussin, et Bruno Bissonnette, 141-52.
40. **Bougerne B.** (2012). *Conception et synthèse des dérivés phénoliques hautement fonctionnalisés et étude de leurs propriétés biologiques vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires (athérosclérose)*. Thèse de doctorat en Chimie-Biologie-Santé. Université Toulouse III : Paul Sabatier, 256p.
41. **Glaus T. M., Grenacher B., Koch D., Reiner B., et Gassmann M.** (2004). High Altitude Training of Dogs Results in Elevated Erythropoietin and Endothelin-1 Serum Levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, n° 3 : 355-61.
42. **Niedermeyer G. M., Hare E., Brunker L. K., Berk R. A. et al.** (2020). A Randomized Cross-Over Field Study of Pre-Hydration Strategies in Dogs Tracking in Hot Environments. *Frontiers in Veterinary Science* 7.
43. **Sands W. A., McNeal J. R., Murray S. R. et al.** (2013). Stretching and Its Effects on Recovery : A Review. *Strength & Conditioning*, Journal 35, n° 5 : 30-36.
44. **Gilibert C.,** (2014). *Etude des méthodes d'évaluation de la qualité de la préparation physique et de l'entraînement du berger belge malinois pratiquant le ring*. Thèse de doctorat vétérinaire. Université de Lyon : Université Claude-Bernard, 141p.
45. **Barthélemy A.** (2016). Les lactates. *PratiqueVet*, n°51, 214-216.
46. **Allen S. E., Holm J. L.** (2008). Lactate : physiology and clinical utility. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, n° 18, p32-123.
47. **Ventura-Clapier R.** (1998). Créatine kinases et transferts d'énergie dans le myocyte cardiaque. *Médecine/Sciences*, n°10, vol. 14.
48. **Aktas M., Auguste D., Concordet D., Vinclair P. et.al.** (1994). Creatine Kinase in Dog Plasma: Preanalytical Factors of Variation, Reference Values and Diagnostic Significance. *Research in Veterinary Science* 56, n° 1, p30-36.
49. **Biomnis** (2013). LDH. *Précis de biopathologie analyse médicale spécialisée*. 3p.
50. Labtest - Protéines sériques totales et ratio A/G. *Lab Test Online, un guide de référence*. URL : <http://www.labtestsonline.fr/tests/TotalProtein.html?tab=3>. (Consulté le 8 mai 2020).
51. Canine CRP | Biochemistry | Reagent | Randox Laboratories. *Randox*. URL : <https://www.randox.com/canine-crp/>. (Consulté le 8 mai 2020)
52. **Lenzi F.** (2011). *Contribution à l'étude du stress oxydant cellulaire chez le chien de traîneau en course de sprint*. Thèse de doctorat vétérinaire. Université de Lyon : VetAgro Sup Campus vétérinaire de Lyon, 132p.

53. **Haleng J., Pincemail J., Defraigne J.O. et al.** (2007). Le stress oxydant. *Rev Med Liege*, n°62, 10. p628-638.
54. **Courtin S.** (2009). *Etude des variations des paramètres biologiques lors de l'entraînement des chiens du centre national d'instruction cynophile de la gendarmerie*. Université Paul-Sabatier de Toulouse, 129p.
55. **Clero D.** (2015). *Intérêt d'une supplémentation nutritionnelle adaptée dans l'optimisation de la performance physique de travail du chien d'utilité*. Médecine vétérinaire et santé animale. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 178p.
56. **Dine G., et Patrick L.** (2018). Suivi biologique du sportif : Mesures biologiques, pathologies, PBA, génomique. *Elsevier Health Sciences*. p38-39.
57. **Hinchcliff K. W., Reinhart G. A., Burr J. R., et Swenson R. A.** (1997). Exercise-associated hyponatremia in Alaskan sled dogs: urinary and hormonal responses. *Journal of Applied Physiology* 83, n° 3 : 824-29.
58. **Letocart A.** (2018). *Capacités d'adaptations tendineuses à l'entraînement: effet de l'âge*. Thèse de doctorat en biomécanique. Université de Technologie de Compiègne, 268p.
59. **Bacquaert P.** (2017). La cryothérapie au service de la récupération des sportifs. *Site internet de l'IRBMS (Institut de recherche du bien-être, de la médecine et du sport santé*. URL : <https://www.irbms.com/cryotherapie/> (Consulté le 02/10/2020).
60. **Cazorla G.** (2005). Planification, programmation et périodisation de l'entraînement. *Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport*. 44p.
61. **Messonnier L. A., Emhoff C-A. W., Fattor J. A.** (2013). Lactate Kinetics at the Lactate Threshold in Trained and Untrained Men. *Journal of Applied Physiology* 114, n° 11 1593-1602.
62. **Dresdtel C.** (2007) *Effets de l'entraînement physique sur la tolérance à l'effort maximal, l'incompétence chronotrope et la fréquence cardiaque de récupération*. Mémoire en Science de l'activité physique. Département de kinésiologie, Université de Montréal. 121p
63. **Kasapis C., Thompson P.D.** (2005) The Effects of Physical Activity on Serum C-Reactive Protein and Inflammatory Markers. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 45, No. 10.
64. **Lapeyrade E.** (2014). *Manifestations cliniques et endocrines liées au stress chez le chien et le chat : étude bibliographique comparative*. Thèse d'exercice en Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 97p
65. **Reynier C.** (2011) Faibles perturbations des transaminases en médecine générale : analyse des pratiques et étude prospective descriptive des principales étiologies dans la région annécienne de mars à octobre 2010. *Médecine humaine et pathologie*.
66. **Goy-Thollot I., Pouzot C., Chambon M. et Bonnet J-M.** (2005) Régulation de la natrémie et déséquilibres hydrosodés chez le chien et le chat en soins intensifs. *Revue Méd. Vét.*, 156, 11, 556-568
67. **Rovira S., Munoz A., Benito M.** (2005) Fluid and electrolyte shifts during and after Agility competitions in dogs. *J. Vet. Med. Sci.* 69 (1) : p31-35
68. **De Godoy M. R. C., Beloshapka A. N., Carter R. A.** (2014) Acute changes in blood metabolites and amino acid profile post-exercise in Foxhound dogs fed a high endurance formula. *Journal of Nutritional Science*, vol. 3, e33, p1-6
69. **Ljunghall S., Joborn H., Benson L.** (1984) Effects of physical exercise on serum calcium and parathyroid hormone. *European journal of clinical investigation*. Vol 14, 6, p469-473
70. **Cazorla G., Petibois C., Bosquet L., Leger L.** (2001) Lactates and exercise : myths and realities. *STAPS*, 54, 063-076
71. **Lindinger M.I., Sjøgaard G.** (1991) Potassium Regulation during Exercise and Recovery. *Sports Medicine* volume 11, p382-40
72. **Anuradha C.V., Balakrishnan S. D.** (1998) Effect of training on lipid peroxidation, thiol status and antioxidant enzymes in tissues of rats. *Indian J Physiol Pharmacol* ; 42(1) : p64-70.
73. **Fajardo V.A., Mc Meekin L., Leblanc P.J.** (2011) Influence of Phospholipid Species on Membrane Fluidity: A Meta-analysis for a Novel Phospholipid Fluidity Index. *J. Membrane Biol*, 244: p97-103
74. **Hinchcliff K.W., Olson J., Crusberg C. et al.** (1993) Serum biochemical changes in dogs competing in a long-distance sled race. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, Vol. 202, N°3, p401-405
75. **Hammel E.P., Kronfeld D.S., Ganjam V.K. et al.** (1977) Metabolic responses to exhaustive exercise in racing sled dogs fed diet containing, medium, low or zero carbohydrates. *The American Journal of Clinical Nutrition* 30, p409-418
76. **Refsum H. E., Tveit B., Menn H.D., Stromme S. B.** (1973) Serum electrolyte, fluid and acid-base

- balance after prolonged heavy exercise at low environmental temperature. *Scandinavian Journal of Clinical and laboratory investigation . Invest.* Vol 32, p117-122.
77. **Kasapis C., Thompson P.D.** (2005) The Effects of Physical Activity on Serum C-Reactive Protein and Inflammatory Markers. *Journal of the American College of Cardiology.* Vol. 45, No. 10
78. **Motta S., Letellier C., Ropert M. et al.** (2008) Protecting effect of vitamin E supplementation on submaximal exercise-induced oxidative stress in sedentary dogs as assessed by erythrocyte membrane fluidity and paraoxonase-1 activity. *The Veterinary Journal.*

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : Consignes d'entraînement données aux maîtres des chiens entraînés

### Plan d'entraînement de préparation aux tests sur tapis

Seul le nombre d'entraînements par semaine est imposé. Vous êtes libre de répartir les entraînements sur la semaine selon vos disponibilités.

Pour ceux qui font des promenades en laisse et en libre, vous pouvez bien sûr les maintenir ! Mais elles ne remplacent pas un entraînement en traction.

Je voudrais souligner l'importance de conserver le caractère ludique de chaque sortie que vous faites avec votre chien, sa motivation à courir reste la composante la plus importante ! Alors amenez les séances sous forme de jeu, avec des décomptes, des encouragements et pourquoi pas des friandises à la fin. Certains chiens comme les chiens de chasse adorent les chemins forestiers, variez les lieux d'entraînement et favorisez aussi les entraînements de groupe qui motiveront les chiens ... et les maîtres !

#### Description d'une sortie en canicross :

La sortie durera 45 min à 1h, ce qui correspond approximativement au temps en déplacement. Les 2/3 minimum devront être parcourus avec le chien en traction ! Soit 30 min pour une sortie de 45 min et 40 min pour une sortie de 1h.

Les entraînements de canicross peuvent se faire à allure modérée afin de tenir la durée de l'entraînement.

#### Les sorties VTT ou trottinette : (ou même ski ou tout ce que vous voulez qui s'y apparente !)

Elles dureront 20 ou 30 min à vitesse moyenne à élevée dans la mesure du possible. L'effort produit par le chien doit être assez intense. Alors donnez tout pour ces sorties et éclatez-vous !!!

Pour la sécurité, je vous rappellerais juste qu'il est préférable de choisir des chemins peu fréquentés par des promeneurs et n'oubliez pas votre casque et les gants de protection !

*Remarque importante :* Le dénivelé rajoute de la difficulté à l'entraînement alors si votre parcours est très vallonné, vous pouvez raccourcir un peu les distances.

#### Les séances fractionnées : Par exemple

- 30/30 : courir 30 sec vite puis trotter doucement 30 sec ... répéter 6 fois. Repos 2 mins. Recommencer les 30/30 six fois.
- 8x2 min : Courir à bonne allure 2min, puis trotter 45sec et recommencer 8 fois.
- 6 fois 30/30 (cf semaine 1), repos 2 min, puis série de 40 sec vite / 20 sec lent (à répéter 6 fois également)
- 3 x 7 min : Courir à bonne allure pendant 7 minutes, trotter lentement 2 minutes et repartir pour 7 minutes à bonne allure. Répéter 3 fois.

Ces séances (VTT/trot et fractionné) doivent toujours être précédées d'un échauffement en trottant doucement pendant 15 à 25 minutes. Après avoir effectué la séance, trotter également pendant 8 – 10 minutes pour la récupération active. Vous pourrez aussi masser les muscles du chien pour une récupération plus complète.

La durée totale échauffement-séance-récupération n'excédera pas une heure.

**Semaine 1 : (3 séances)**

- canicross à allure constante moyenne : 45 min
- VTT/trot : 20min
- canicross : 45 min avec fractionné (2x [6x 30'/30'] |Récupération 2 min entre les 2 séries)

**Semaine 2 : (3 séances)**

- canicross 45 min à 1h
- VTT/trot 20 min
- canicross 1h avec fractionné (8 x 2 min | Récup 1 min en trotinant)

**Semaine 3 : (4 séances)**

- Canicross 45 min à 1h
- VTT/trot avec fractionné : 3 x 7 min |Recup 2 min
- VTT/trot 30min
- Canicross 1h avec fractionné ( 6x 30/30 + 6x 40/20 | recup 2 min)

**Semaine 4 : (4 séances) (identique à la semaine 3)**

- Canicross 45 min à 1h
- VTT/trot avec fractionné : : 3 x 7 min |Recup 2 min
- VTT/trot 30min
- Canicross 1h avec fractionné ( 6x 30/30 + 6x 40/20 | recup 2 min)

**ATTENTION** : Prévoir au moins 2 jours de repos avant le jour du test.



## **ANNEXE 2 : Consentement éclairé**

### **Formulaire de consentement éclairé**

Je, soussigné \_\_\_\_\_ déclare accepter, librement, et de façon éclairée, de participer comme sujet à l'étude intitulée : « Contribution à l'étude du métabolisme du chien de canicross par suivi de la lactatémie et de la fréquence cardiaque lors de la réalisation d'efforts maximaux sur tapis de course. »

Sous la direction de Jean Jacques THIEBAULT

Promoteur : VetAgro Sup Lyon, à MARCY L'ETOILE (69)

Investigateur principal : Lise FOUBERT, 4eme année.

#### But de l'étude :

Le projet a pour but de réaliser des tests d'effort sur des chiens plutôt sédentaires et sur des chiens entraînés afin de comparer leurs performances. L'étude permettra d'étudier le métabolisme et notamment la production de lactates par les chiens pour proposer un protocole d'entraînement plus adapté à des efforts assez courts comme une course de canicross.

Engagement du participant : L'étude va consister à réaliser un test d'effort sur tapis roulant d'une durée maximale de 30 minutes. Une prise de sang avant le test ainsi qu'une ou deux prises de sang après l'effort seront réalisées afin de mesurer certains paramètres. La fréquence cardiaque sera suivie durant toute la durée du test grâce à un dispositif (holter).

Engagement de l'investigateur principal : en tant qu'investigateur principal, il s'engage à mener cette étude selon les dispositions éthiques et déontologiques, à protéger l'intégrité physique, psychologique et sociale des chiens tout au long de l'étude et à assurer la confidentialité des informations recueillies. Il s'engage également à fournir aux participants tout le soutien permettant d'atténuer les effets négatifs pouvant découler de la participation à cette recherche. Toutefois, il prévient que lors du test d'effort et comme lors de tout exercice physique, le sujet s'exposera aux risques d'hyperthermie, d'arrêt cardio-respiratoire, aux risques vasculaires et traumatiques. En cas d'accident, l'investigateur s'engage à entreprendre les manœuvres de soins et de réanimation nécessaires.

Liberté du participant : le consentement pour poursuivre la recherche peut être retiré à tout moment sans donner de raison et sans encourir aucune responsabilité ni conséquence. Les réponses aux questions ont un caractère facultatif et le défaut de réponse n'aura aucune conséquence pour le sujet.

Information du participant : le participant a la possibilité d'obtenir des informations supplémentaires concernant cette étude auprès de l'investigateur principal, et ce dans les limites des contraintes du plan de recherche.

Confidentialité des informations : toutes les informations concernant les participants seront conservées de façon anonyme et confidentielle. Le traitement informatique n'est pas nominatif, il n'entre pas de ce fait dans la loi Informatique et Liberté (le droit d'accès et de rectification n'est pas recevable).

Déontologie et éthique : le promoteur et l'investigateur principal s'engagent à préserver absolument la confidentialité et le secret professionnel pour toutes les informations concernant le participant (code de déontologie vétérinaire)

Fait à \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_ en 2 exemplaires

#### Signatures :

Le participant :  
principal :

L'investigateur

### ANNEXE 3 : Résultats des tests d'effort.

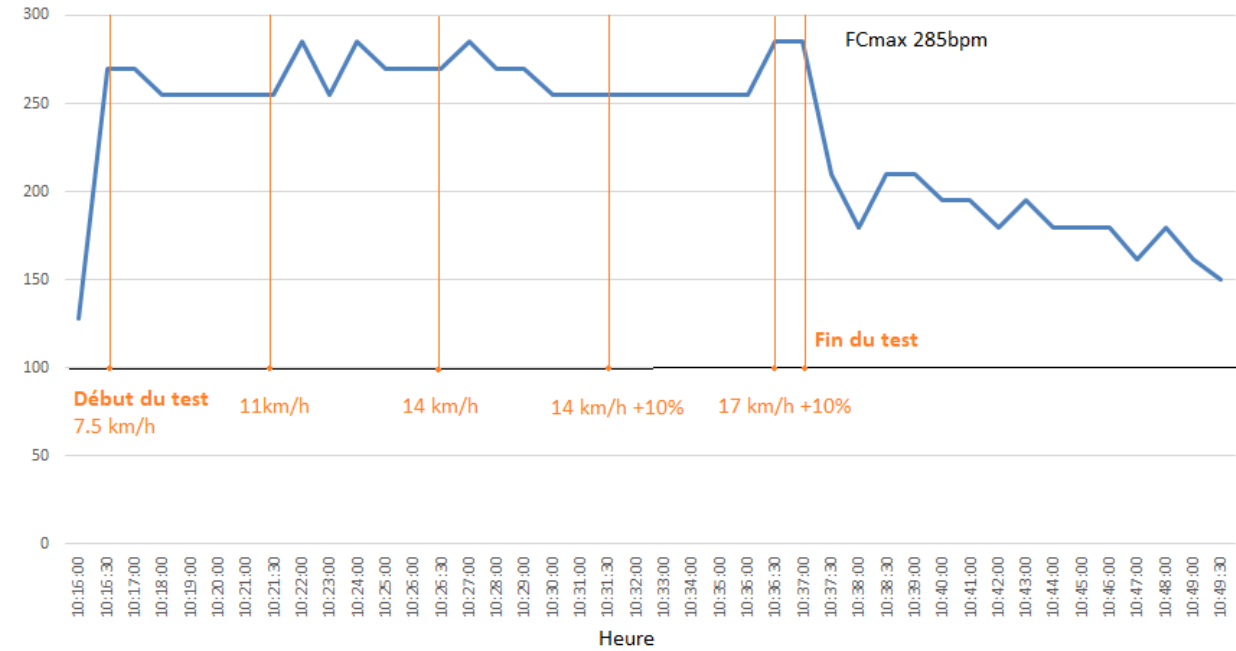
chien	note d'entraînement sur 10	nombre moyen d'entraînements/semaine	type d'entraînement	Travail en fractionné	résultats du test	palier atteint	Note subjective de l'effort fourni	durée du test min'sec"
Abys	9	3	canicross+caniVTT	oui	17km/h+10% + 30sec	4	10	20'30"
Askja	8	3	Skijöring + sprint en libre	non	17km/h+15% + 2min30	5	8	27'30"
Gypsie	6	3	canicross+trottinette+skijo	non	17km/h+15% + 1min17	5	10	26'17"
Jamie	8	3	canicross+canivtt+skijo	oui	17km/h+10% + 2min	4	8	22'00"
Helika	7	2 puis 3	canicross	oui	17km/h+10% + 5min	4	9	25'00"
Hopla	7	2 puis 3	canicross	oui	17km/h+15% + 30sec	5	9	25'30"
Kanakin	7	3	traineau+skijo	non	17km/h+15% + 3min	5	10	28'00"
KJ	7	3	traineau+skijo	non	17km/h+10% + 3min	4	10	23'00"
Kyana	7	3	traineau+skijo	non	17km/h+15% + 2min	5	10	27'00"
Kiska	8	3	traineau+skijo	non	17km/h+10% + 2min30	4	10	22'30"
Nerka	8	3	trottinette+canivtt	non	17km/h+10% + 1min	4	8	21'00"
Leader	9	3	vtt + trottinette + canicross + libre	non	17km/h+15%+5min	6	10	30'00"
Nova	9	3	vtt + trottinette + canicross + libre	non	17km/h+15%+5min	6	10	30'00"
Roméo	9	3	vtt + trottinette + canicross + libre	non	17km/h+15%+2min	6	10	27'00"
Spike	9	3	vtt + trottinette + canicross + libre	non	17km/h+15%+5min	6	10	30'00"
					vitesse max			
Kuro	0	0			10km/h+10%		6	16'26"
Hyago	0	0			9km/h		8	11'00"
Ataxie	0	0			13,5km/h		8	30'00"
Jango	0	0			11km/h		10	17'00"
Mynawy	0	0			15km/h+10%		10	30'00"
Cayak	0	0			11km/h+10%		10	25'00"
Jazz	0	0			11km/h+10%		10	25'00"
June	0	0			10km/h+10%		10	25'00"
Okun	0	0			10km/h+10%		8	16'00"
Mooky	0	0			8km/h		0	10'00"

## ANNEXE 4 : Tracés ECG des sportifs.

### 1. Tracé ECG de Abys :

Fréquence cardiaque

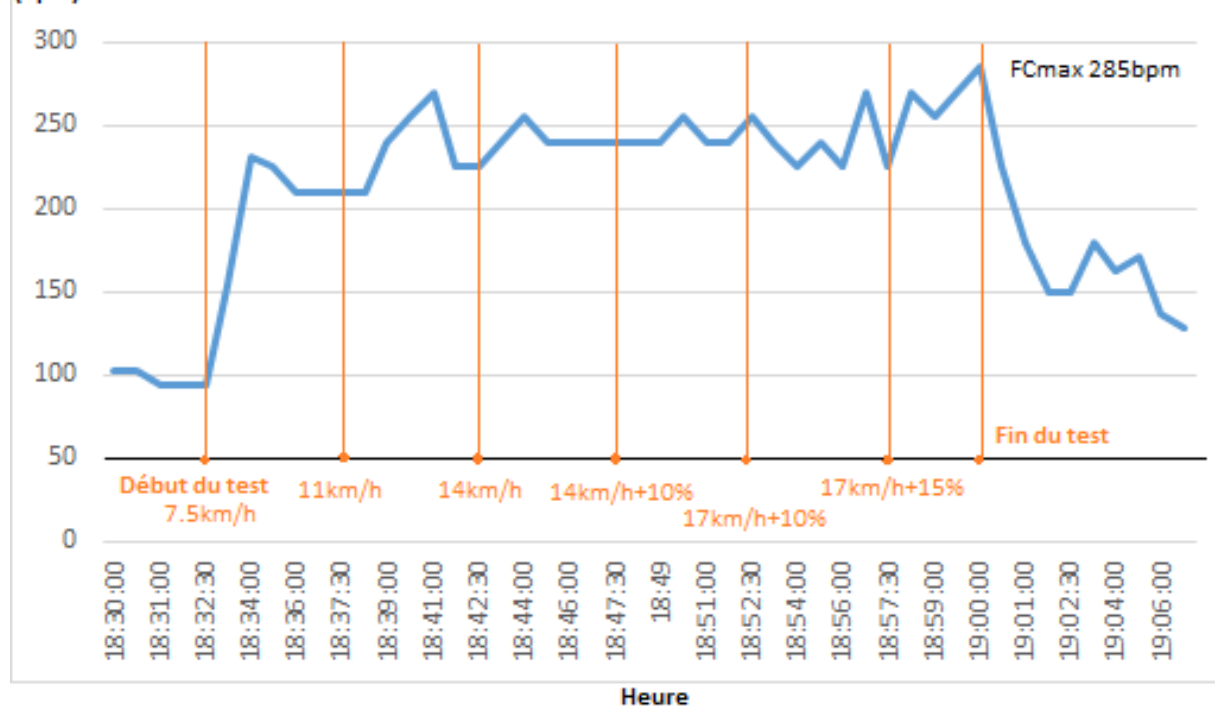
(bpm)



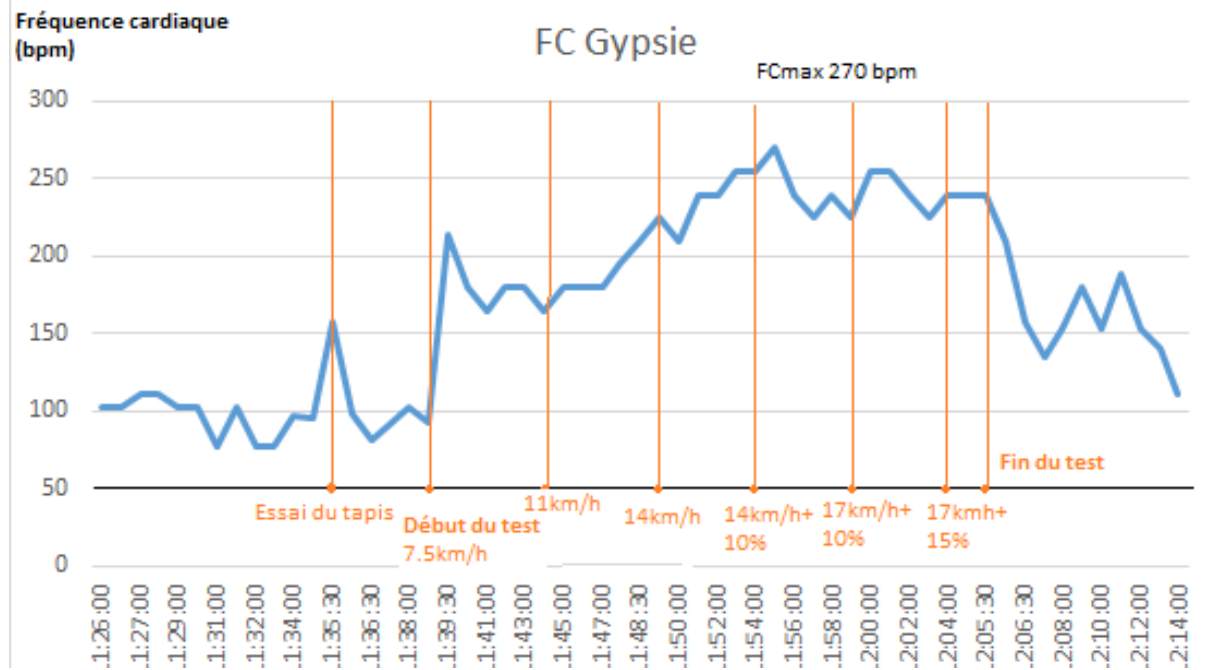
### 2. Tracé ECG de Askja :

Fréquence cardiaque

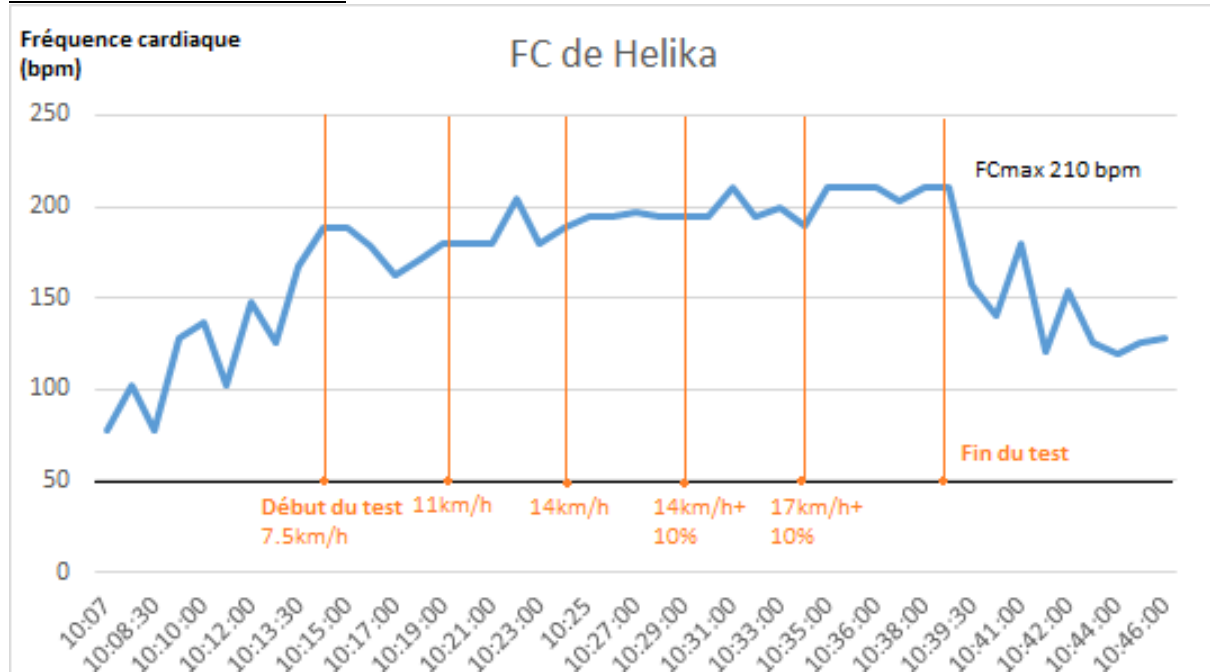
(bpm)



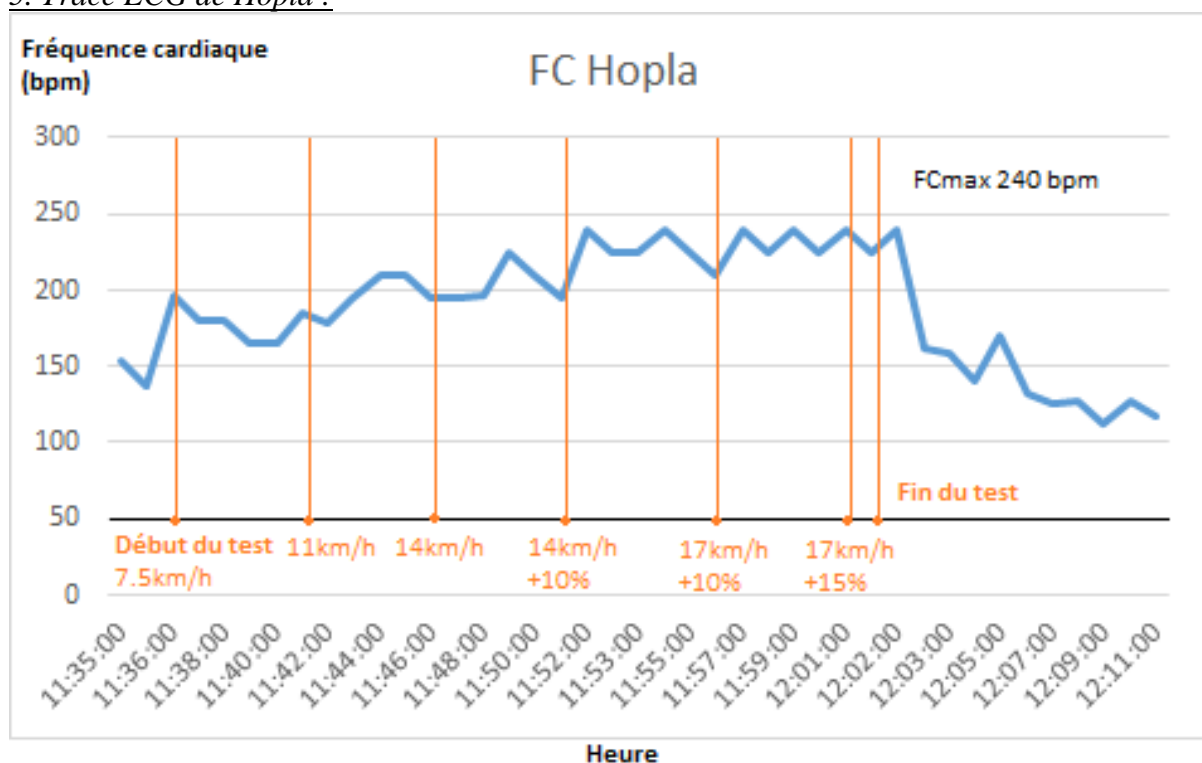
### 3. Tracé ECG de Gypsie :



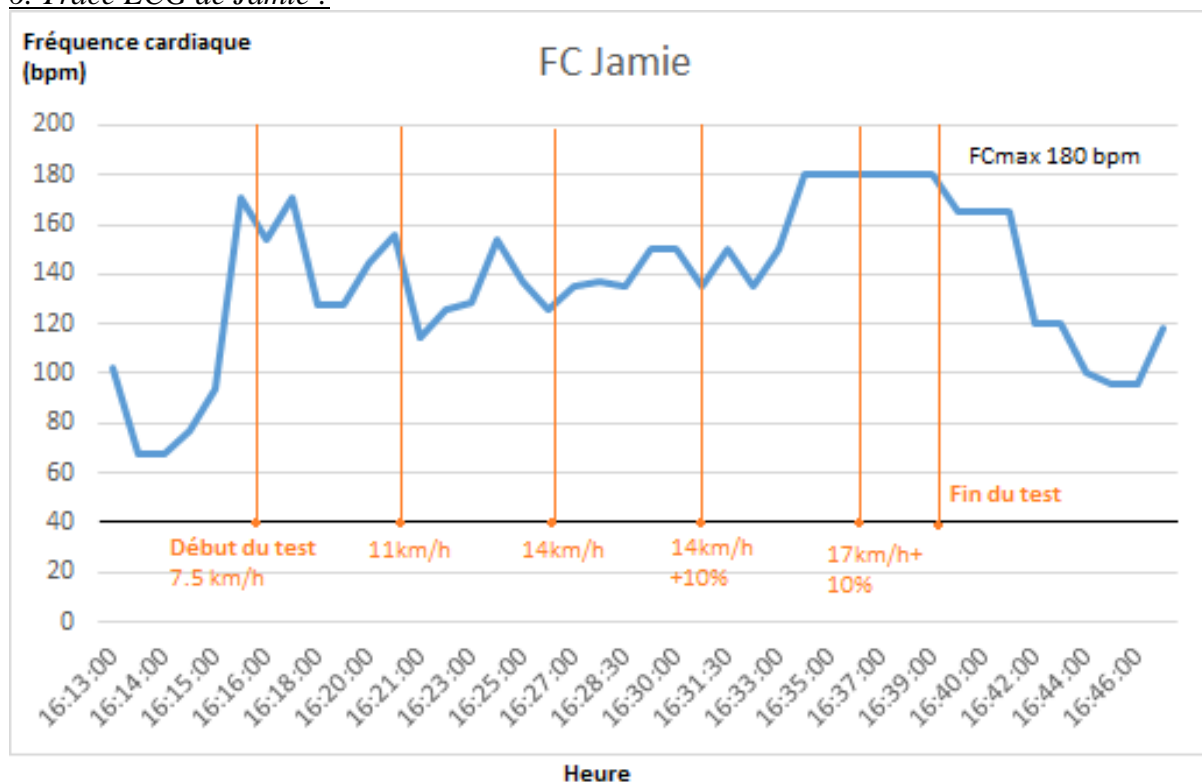
### 4. Tracé ECG de Helika. :



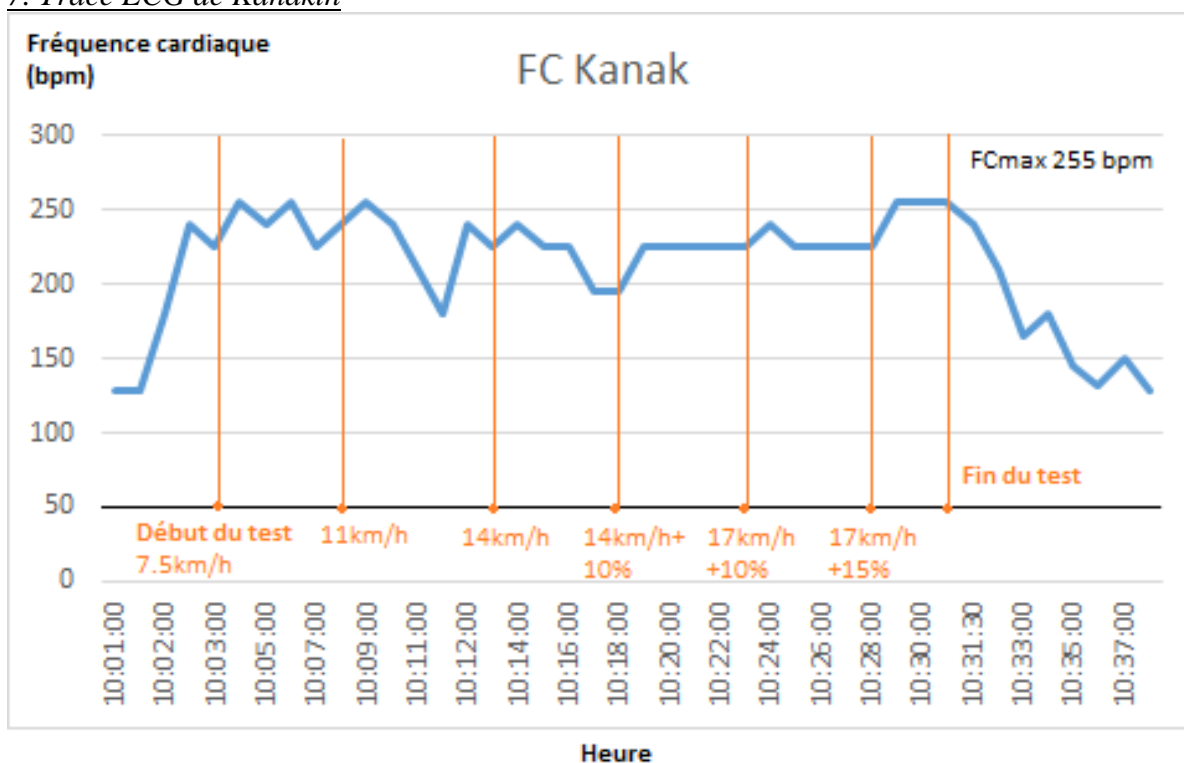
5. *Tracé ECG de Hopla :*



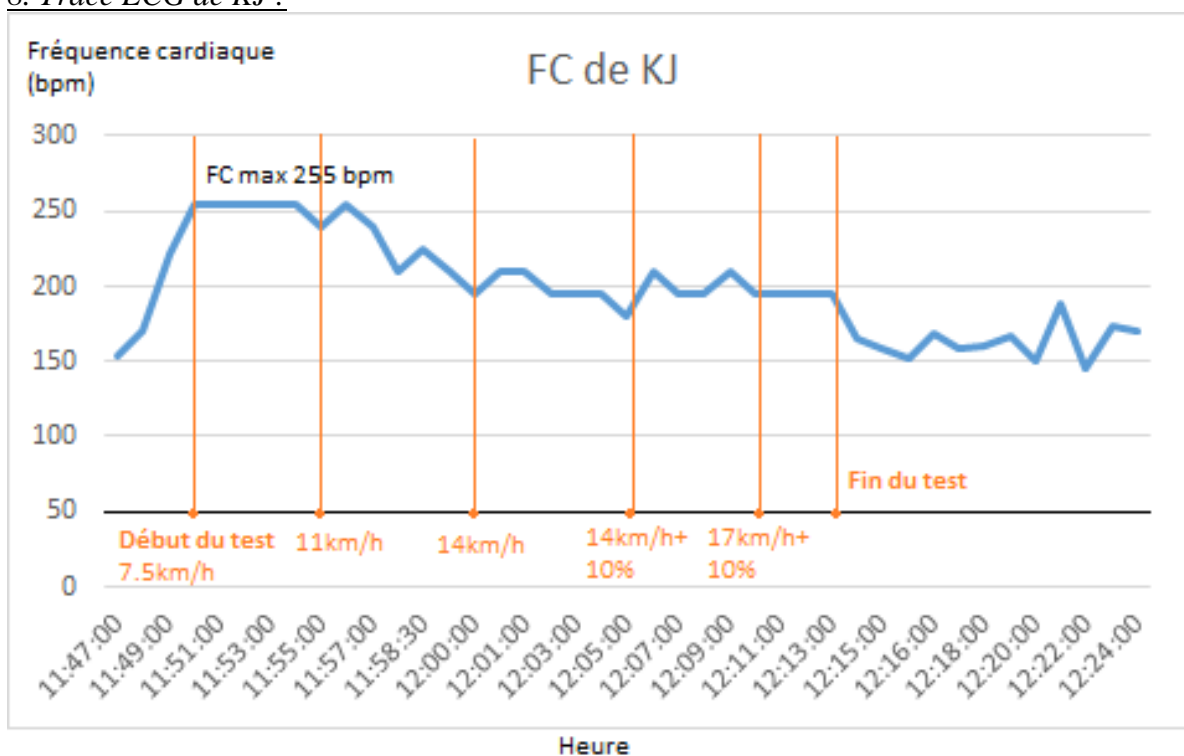
6. *Tracé ECG de Jamie :*



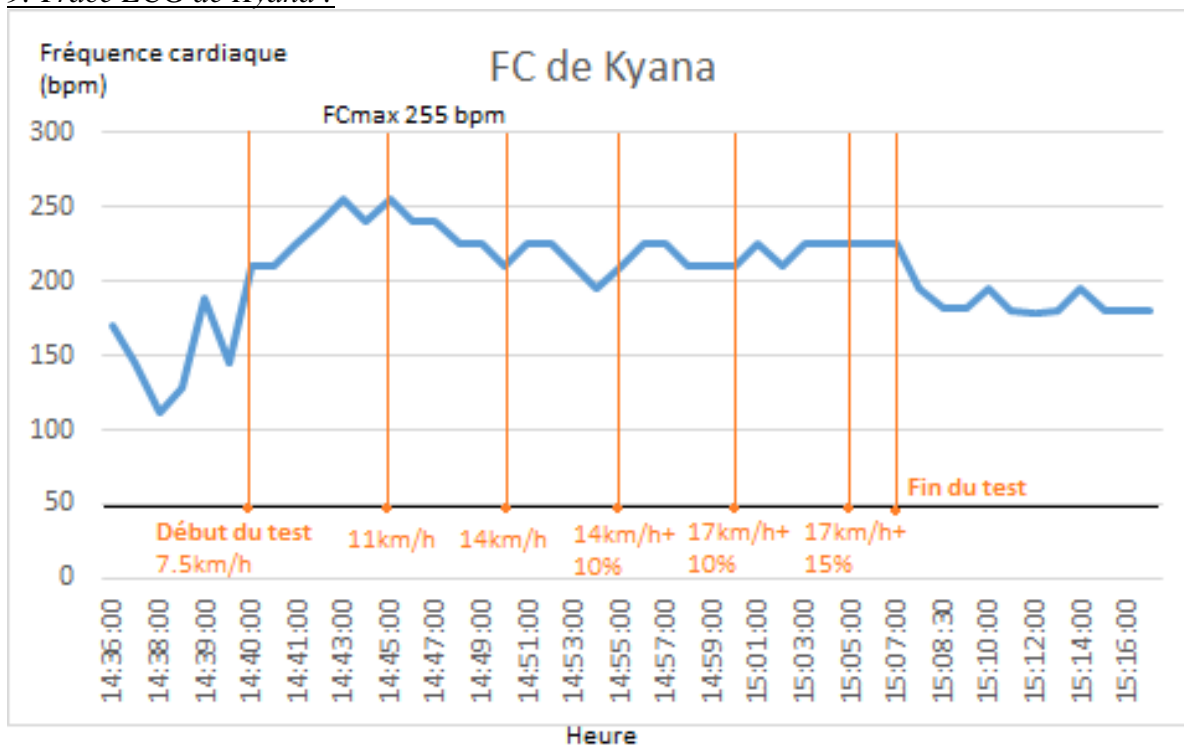
### 7. Tracé ECG de Kanakin



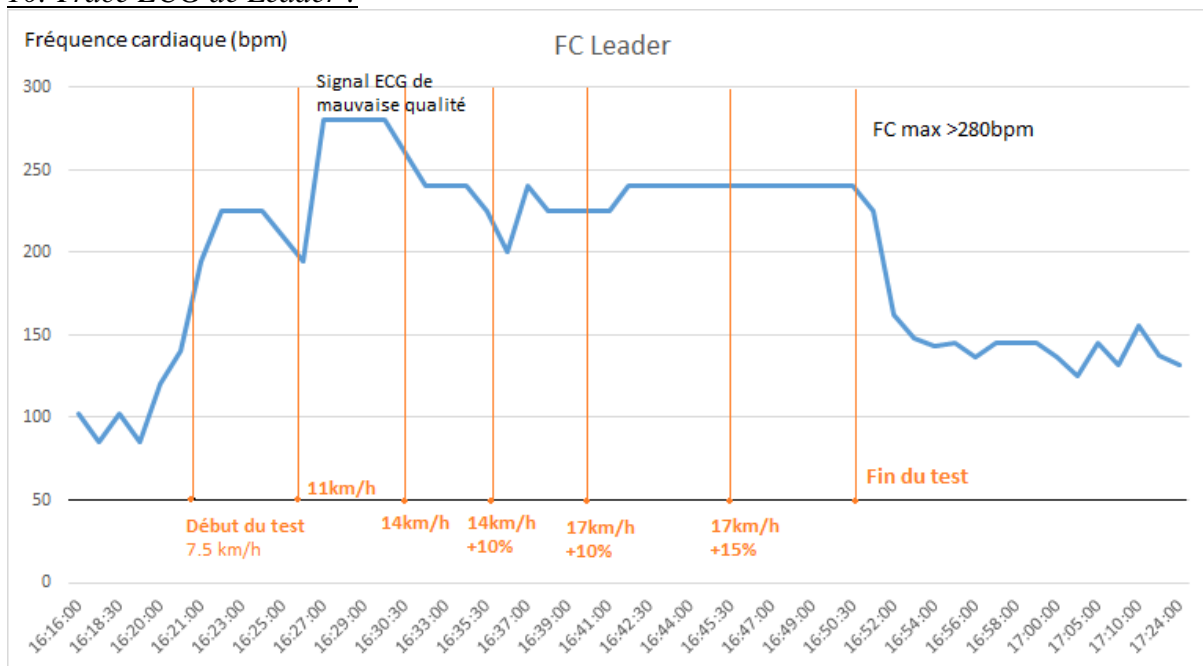
### 8. Tracé ECG de KJ :



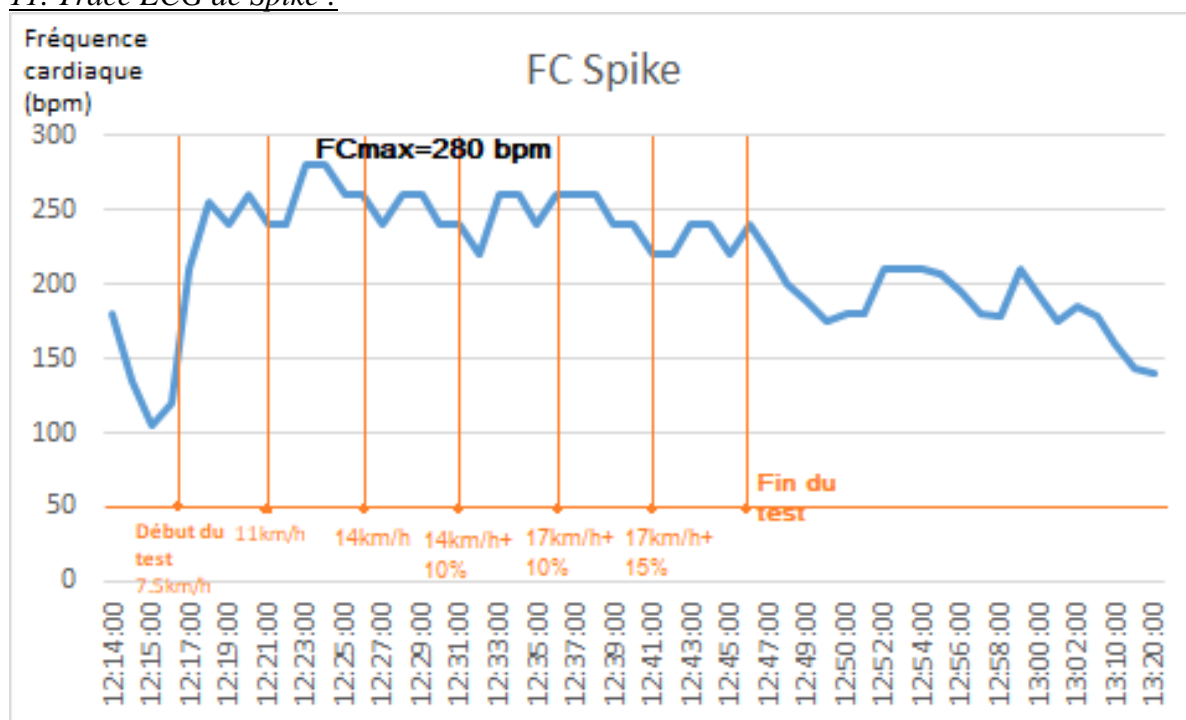
9. Tracé ECG de Kyana :



10. Tracé ECG de Leader :

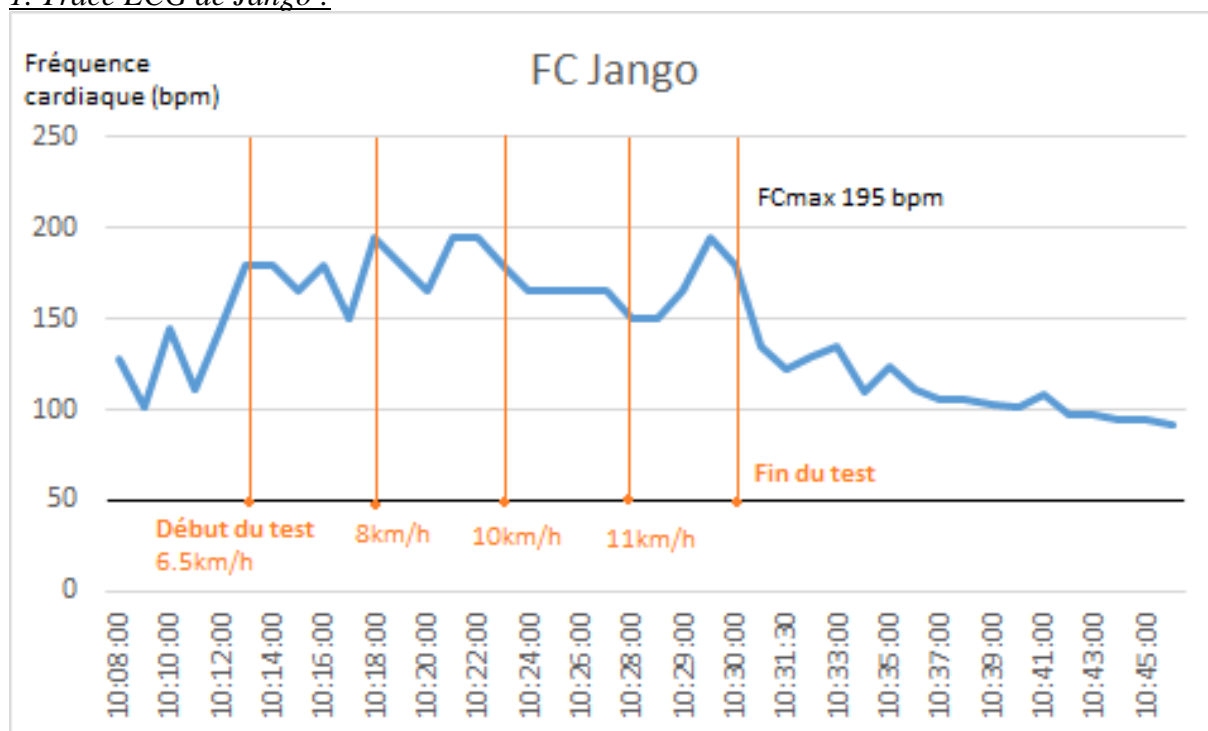


11. Tracé ECG de Spike :



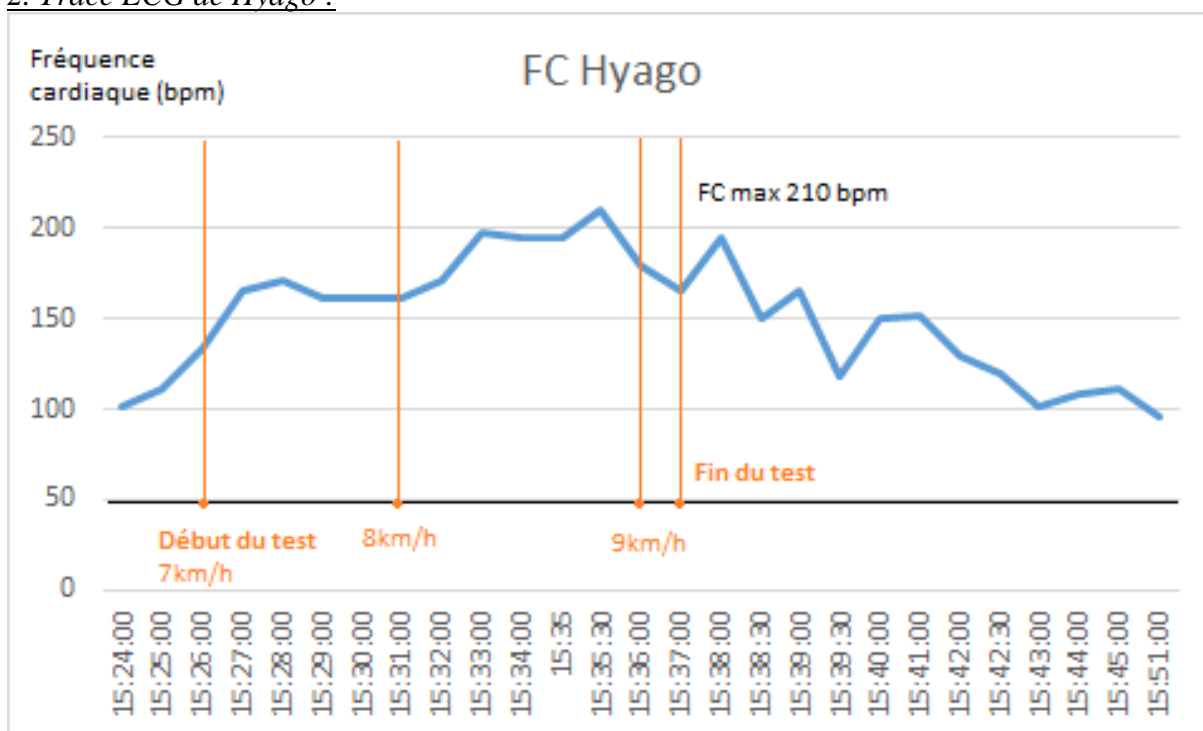
**ANNEXE 5 : Tracés ECG des sédentaires.**

1. Tracé ECG de Jango :

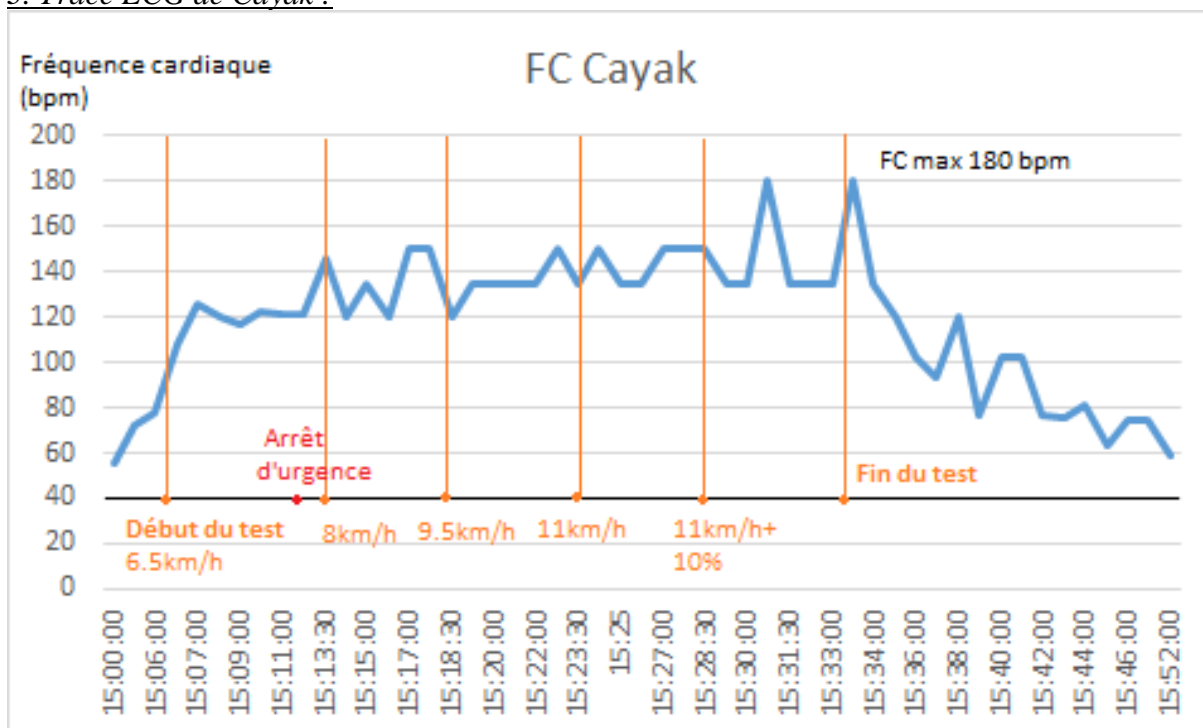




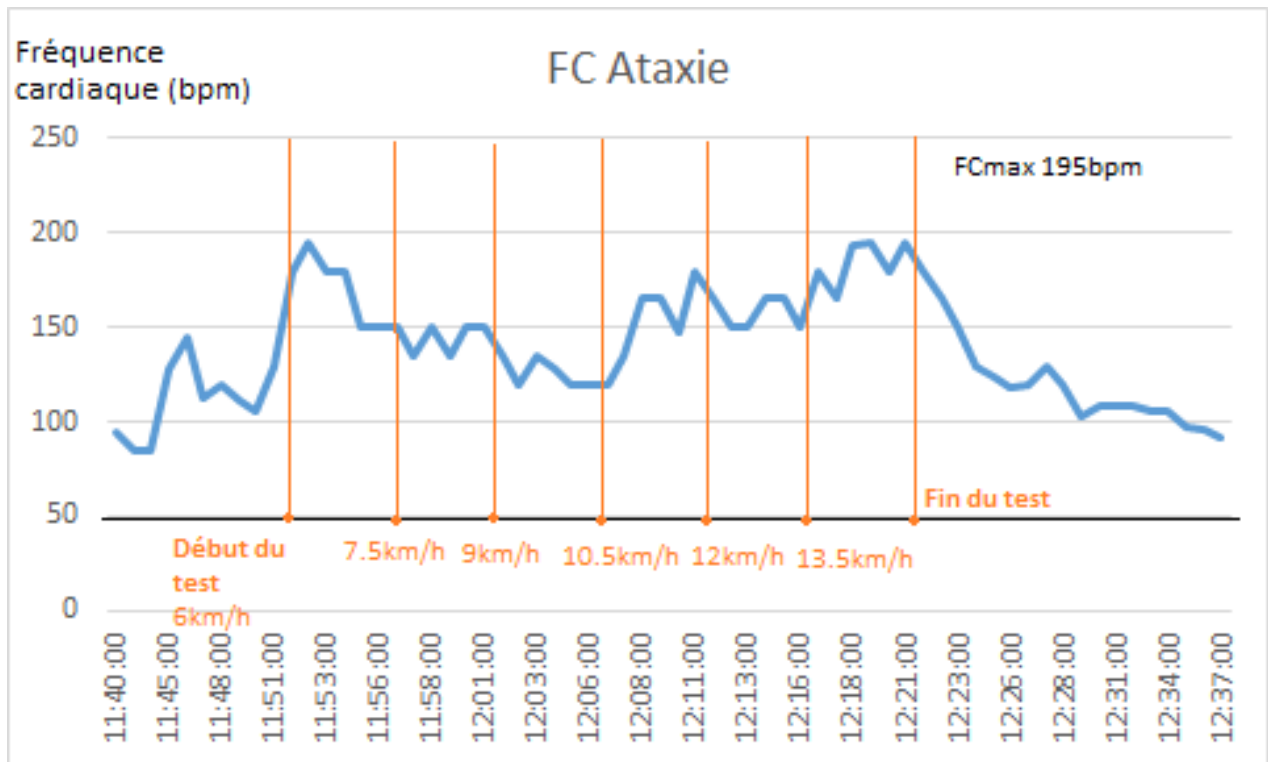
### 2. Tracé ECG de Hyago :



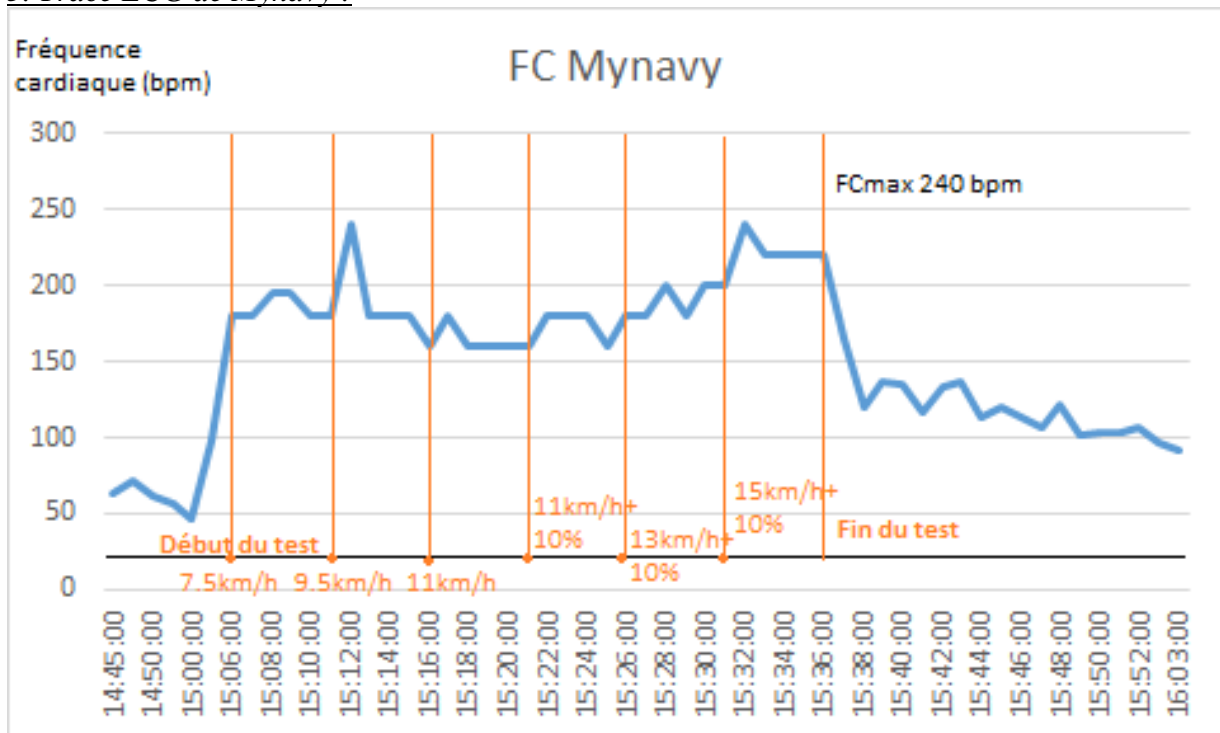
### 3. Tracé ECG de Cayak :



4. Tracé ECG de Ataxie :



5. Tracé ECG de Mynavy :





**FOUBERT Lise**

**Contribution à l'étude de l'adaptation à l'effort de chiens de canicross par réalisation de tests d'effort sur tapis de course et proposition d'un plan d'entraînement.**

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, le 23 octobre 2020.

**RESUME :** Les effets d'un entraînement de chiens de canicross ont été évalués par des épreuves maximales sur tapis roulant grande vitesse avec des paliers progressifs et une durée totale d'effort environ équivalente à celle d'un canicross afin d'en mimer les effets. L'étude a été réalisée avec 15 chiens préalablement entraînés et 10 chiens sédentaires. Les résultats ont indiqué que l'entraînement améliore la performance des chiens lors de leur test d'effort. La fréquence cardiaque maximale atteinte des sportifs est supérieure à celle des sédentaires et leur temps de récupération semble amélioré. Des adaptations biochimiques bénéfiques induites par l'entraînement ont pu apparaître significativement comme par exemple la diminution des paramètres musculaires CK et LDH par rapport aux sédentaires. Toutefois, on a observé chez les sportifs au cours de l'effort une augmentation significative des lactates, une diminution de la calcémie, et une augmentation de la kaliémie. La méthode de RPE (Résonance Paramagnétique Electronique) a permis d'analyser la fluidité membranaire érythrocytaire en lien avec le stress oxydatif et semble montrer une adaptation des phénomènes antioxydants chez les chiens sportifs malgré des résultats non significatifs. Des biais expérimentaux interfèrent probablement avec ces résultats comme une intensité d'effort moindre des chiens sédentaires non habitués à la course, et un niveau de stress ou d'excitation plus important chez les sportifs.

**MOTS CLES :**

- Canicross
- Lactates
- Stress oxydatif
- Entraînement
- Physiologie
- Chien de sport

**JURY :**

Président : Monsieur le Professeur Gilles RODE  
1er Assesseur : Monsieur le Professeur Jean-Jacques THIEBAULT  
2ème Assesseur : Madame la Professeur Jeanne-Marie BONNET-GARIN

**DATE DE SOUTENANCE : Le 23 octobre 2020.**

**ADRESSE DE L'AUTEUR :**

27bis rue du Markstein  
68610 LINTHAL.