



HAL
open science

L'alimentation des chiens de canicross et disciplines associées

Laure Cornement

► **To cite this version:**

Laure Cornement. L'alimentation des chiens de canicross et disciplines associées. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04155398

HAL Id: dumas-04155398

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04155398v1>

Submitted on 7 Jul 2023

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

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

Copyright

Année 2023

L'ALIMENTATION DES CHIENS DE CANICROSS ET DISCIPLINES ASSOCIÉES

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 23 mai 2023

par

Laure, Marie, Claire CORNEMENT

sous la direction de

Dominique GRANDJEAN

JURY

Président du jury :	M. Andrew PONTER	Professeur à l'EnvA
Directeur de thèse :	M. Dominique GRANDJEAN	Professeur à l'EnvA
Examinatrice :	Mme Lucie CHEVALLIER	Maître de Conférences à l'EnvA
Membre invité :	M. Joaquín CABRERA GONZÁLEZ	Docteur Vétérinaire

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire



version janvier 2023

Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Professeur	DSBP
M	Blot	Stéphane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Federighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Professeur	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guéneq	Christelle	Professeur	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Amé	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barbarino	Alix	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Benckekroun	Ghita	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	Francois	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Coudry	Virginie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
M	Crozet	Guillaume	Maître de conférences	DPASP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Denis	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guérin	Virginie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guélin-Poitier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Kurtz	Maxime	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Dudal	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
M	Mammeri	Mohamed	Maître de conférences	DSBP
Mme	Manguin	Estelle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
Mme	Marotto	Stéphanie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Mauffré	Vincent	Maître de conférences	DPASP
Mme	Maurice	Emeline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mespouilles-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mtimet	Najés	Maître de conférences	DPASP
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Quéré	Émilie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Ravary-Plumioën	Bérangère	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Héliène	Maître de conférences associé	DSBP
M	Tanquerel	Ludovic	Maître de conférences	DEPEC

Remerciements

Au Président du Jury de cette thèse, M. Andrew PONTER, Professeur à l'EnvA,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,
Hommage respectueux.

À M. Dominique GRANDJEAN, Professeur à l'EnvA,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter et de diriger cette thèse, pour son investissement, et
pour le temps consacré aux corrections de ce manuscrit,
Sincères remerciements.

À Mme Lucie CHEVALLIER, Maître de conférences à l'EnvA,
Pour avoir accepté d'être l'examinatrice de ce travail,
Sincères remerciements.

À M. Joaquín CABRERA GONZÁLEZ, Ancien Maître de conférences à l'EnvA,
Pour m'avoir accompagnée dans les débuts de ce travail, pour ses précieux conseils et sa
bienveillance,
Sincères remerciements.

Table des matières

Liste des figures.....	3
Liste des tableaux	8
Liste des abréviations.....	10
Introduction	13
Première partie : bibliographie.....	15
1. Présentation du canicross et des disciplines associées.....	15
A. <i>Historique et développement</i>	15
a. Les origines du canicross.....	15
b. Un nouveau sport de haut niveau	15
B. <i>Pratiquer le canicross</i>	19
a. Les chiens pouvant pratiquer les sports de traction	19
b. Le matériel nécessaire	20
c. Type de terrain et environnement	21
C. <i>L'entraînement du chien à un type d'effort particulier</i>	22
a. Les principes de l'entraînement	22
b. Le canicross, une activité de type intermédiaire	23
2. Physiologie de l'effort chez le chien.....	24
A. <i>La contraction musculaire</i>	24
a. Architecture du muscle strié squelettique.....	24
b. Différents types de fibres	25
c. Importance de l'ATP dans la contraction de la cellule musculaire squelettique	25
d. Rôle du magnésium dans le métabolisme de la contraction musculaire	27
B. <i>Le métabolisme énergétique du muscle</i>	28
a. Voie anaérobie alactique.....	28
b. Voie anaérobie lactique.....	28
c. Voie aérobie.....	29
d. Implication des différentes voies en fonction du type d'effort	31
e. Substrats préférentiels de la voie aérobie en fonction de l'intensité de l'effort	33
f. Influence de l'alimentation sur les voies métaboliques.....	36
C. <i>Modifications biologiques et biochimiques engendrées par l'effort</i>	38
a. Les phénomènes vasomoteurs	38
b. La température rectale et les pertes hydriques	38
c. Les paramètres biochimiques et électrolytiques	39
d. Le stress oxydatif cellulaire et l'inflammation induite.....	39
3. La nutrition du chien de canicross	40
A. <i>Les apports hydriques</i>	40
a. Recommandations quantitatives	40
b. Modalités de distribution	41
B. <i>L'énergie</i>	41
a. L'énergie métabolisable	41
b. L'apport énergétique idéal.....	41
c. Calculer le besoin énergétique.....	42
d. Le coût énergétique de la course en traction	45
C. <i>Les macronutriments</i>	46
a. Les protéines	46
b. Les lipides	53
c. Les glucides	58
D. <i>Les micronutriments</i>	61
a. Les vitamines	61
b. Les minéraux	67

E. Le soutien nutritionnel ergogène de l'effort	73
a. Les glucides	73
b. Les acides aminés ramifiés ou « branched-chain amino acids » (BCAA)	74
c. Les vitamines	74
d. La L-carnitine	74
e. La super oxyde dismutase (SOD)	75
f. Le diméthyl glycine (DMG)	75
g. L'inosine	75
h. Les probiotiques	75
i. Les chondroprotecteurs	76
F. Rationnement pratique	76
a. Digestibilité de l'aliment	76
b. Relation alimentation-entraînement	77
c. Choix de l'aliment	77
d. Modalités de distribution	80
Deuxième partie : étude expérimentale	81
1. Introduction	81
2. Matériels et méthodes	81
A. Elaboration du questionnaire	81
B. Mode de diffusion	82
C. Analyse des résultats	82
3. Résultats	82
A. Profil des répondants	82
B. Les chiens de l'étude	84
a. Caractéristiques	84
b. Santé	87
c. Etat physique	89
C. Les activités des chiens	91
a. Les sports de traction pratiqués	91
b. Les autres activités	97
D. L'alimentation des chiens	99
a. Généralités	99
b. Aliments industriels utilisés	104
c. Aliments frais utilisés	107
E. La supplémentation	108
a. Compléments alimentaires	108
b. Snack de charge	110
c. Snack de récupération	112
F. L'hydratation	114
a. L'eau	114
b. Solution électrolytique	116
G. Fiches d'informations	118
4. Discussion	119
A. Critiques du questionnaire	119
B. Pertinence des fiches explicatives	120
Troisième partie : élaboration des fiches informatives	121
1. Méthode d'élaboration des fiches informatives	121
2. Fiches informatives	121
Conclusion	127
Liste des références bibliographiques	129
Annexe 1 : Questionnaire diffusé aux pratiquants de canicross	137

Liste des figures

Figure 1 : Evolution du nombre de clubs affiliés à la FSLC entre 2016 et 2021	16
Figure 2 : Evolution du nombre de licenciés à la FSLC entre 2016 et 2021 (toutes catégories et disciplines confondues)	16
Figure 3 : Evolution du nombre de participants par discipline au Trophée Fédéral Terre de la FSLC entre 2015 et 2022	17
Figure 4 : Evolution du nombre de participants par discipline aux championnats internationaux IFSS (européens et mondiaux) entre 2007 et 2019	17
Figure 5 : Evolution du nombre de participants par discipline ayant une vitesse moyenne égale ou supérieure à 20 km/h sur le parcours long (entre 4 et 8 km) lors des championnats internationaux IFSS (européens et mondiaux) entre 2007 et 2019	18
Figure 6 : Evolution du pourcentage de participants par discipline ayant une vitesse moyenne égale ou supérieure à 20 km/h sur le parcours long (entre 4 et 8 km) lors des championnats internationaux IFSS (européens et mondiaux) entre 2007 et 2019	18
Figure 7 : Photographies d'Alaskan Husky lignées sprint (B) et lignées d'endurance (C) (Huson <i>et al.</i> , 2010)	19
Figure 8 : Photographies d'un attelage d'Eurohound (à gauche), et d'un ESD (à droite)	20
Figure 9 : Photographie d'un Greyster	20
Figure 10 : Matériel nécessaire en canicross (en haut), en caniVTT (en bas à gauche), et en canitrottinette (en bas à droite)	21
Figure 11 : Agencement des fibres au niveau du muscle squelettique (Peycru, 2010)	24
Figure 12 : Organisation schématique d'une myofibrille (Peycru, 2010)	25
Figure 13 : Schéma du couplage excitation-contraction (Roussakis, 2015)	26
Figure 14 : Mécanisme de la contraction musculaire (Betts <i>et al.</i> , 2017)	27
Figure 15 : Fourniture d'ATP par la créatine phosphate (d'après Gogny and Souilem, 1995)	28
Figure 16 : Processus de la fermentation lactique (d'après Peycru, 2010).....	28
Figure 17 : Processus de la bêta-oxydation, ou hélice de Lynen (d'après Peycru, 2010).....	29
Figure 18 : Schéma bilan du métabolisme oxydatif, non équilibré (Peycru, 2010)	31
Figure 19 : Chronologie des voies métaboliques selon l'intensité de l'effort (Toll et Reynolds, 2000)	32

Figure 20 : Taux d'oxydation des glucides (A) et des lipides (B) en fonction de la durée de l'exercice, à différentes intensités (Roberts <i>et al.</i> , 1996).....	34
Figure 21 : Taux d'oxydation du glucose circulant, du glycogène musculaire et des lipides chez le chien en fonction de l'intensité de l'effort (Weber <i>et al.</i> , 1996b).....	35
Figure 22 : Contribution de l'oxydation triglycérides intramusculaires, des acides gras circulants et des glucides totaux chez le chien en fonction de l'intensité de l'effort (Weber <i>et al.</i> , 1996a).....	36
Figure 23 : Fractionnement des apports hydriques avant un effort (d'après Cabrera and Cléro, 2020).....	41
Figure 24 : Grille d'évaluation de la note d'état corporel chez le chien (WSAVA.org)	42
Figure 25 : Courbe du besoin énergétique chien en fonction de son poids, selon deux équations (Blanchard et Paragon, 2020).....	43
Figure 26 : Evolution de l'hématocrite (A), du taux d'hémoglobine (B) et du taux de globules rouges (C) en fonction de l'apport en protéines dans la ration au cours d'une saison de course (Kronfeld <i>et al.</i> , 1977)	52
Figure 27 : Plans de rationnement chez le chien de sport (Grandjean <i>et al.</i> , 2002)	79
Figure 28 : Répartition, en nombre, des répondants selon leur sexe	83
Figure 29 : Répartition, en nombre, des répondants selon leur âge.....	83
Figure 30 : Répartition des répondants selon le nombre d'années de pratique des sports de traction mono-chien.....	84
Figure 31 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur race	84
Figure 32 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur poids moyen.....	85
Figure 33 : Répartition des chiens de l'étude selon leur sexe	85
Figure 34 : Répartition des chiens de l'étude selon leur statut de stérilisation	86
Figure 35 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur âge	86
Figure 36 : Répartition des chiens de l'étude selon leur tempérament.....	87
Figure 37 : Répartition, en nombre, du type de logement des chiens de l'étude	87
Figure 38 : Répartition, en nombre, des maladies chroniques présentées par les chiens de l'étude	88
Figure 39 : Répartition, en nombre, des traitements au long cours reçus par les chiens de l'étude.....	88
Figure 40 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur score fécal.....	89
Figure 41 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur note d'état corporel.....	89
Figure 42 : Répartition des chiens de l'étude selon la variation de leur poids durant la période d'entraînement	90

Figure 43 : Répartition des chiens de l'étude selon leur indice de masse musculaire	90
Figure 44 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la qualité de leur poil	91
Figure 45 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les sports de traction pratiqués...	92
Figure 46 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les périodes d'entraînement et/ou de compétition.....	92
Figure 47 : Répartition des chiens de l'étude selon le nombre d'entraînements hebdomadaires ...	93
Figure 48 : Répartition des chiens de l'étude selon la durée moyenne d'une séance d'entraînement	93
Figure 49 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la distance parcourue durant une séance, en reprise ou au plateau d'entraînement.....	94
Figure 50 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la vitesse moyenne au cours d'une séance d'entraînement.....	95
Figure 51 : Répartition des chiens de l'étude selon les modalités d'entraînement	95
Figure 52 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la constance et la puissance de la traction	96
Figure 53 : Répartition des chiens de l'étude selon le relief du terrain d'entraînement.....	96
Figure 54 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le dénivelé moyen du terrain d'entraînement	97
Figure 55 : Répartition des chiens de l'étude selon le temps moyen d'activité extérieure quotidienne.....	97
Figure 56 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les autres activités et sports pratiqués	98
Figure 57 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le nombre de séances hebdomadaires des autres activités et sports pratiqués	98
Figure 58 : Répartition des chiens de l'étude selon le type de leur alimentation	99
Figure 59 : Répartition, en nombre, des types de personnes ayant conseillé le mode d'alimentation et/ou élaboré la ration.....	100
Figure 60 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le fractionnement de la ration quotidienne les jours d'effort.....	100
Figure 61 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le moment du ou des repas par rapport à l'effort.....	101
Figure 62 : Répartition des chiens de l'étude selon la rapidité d'ingestion de l'aliment	102
Figure 63 : Répartition des chiens de l'étude selon qu'ils semblent rassasiés ou non (à gauche) et qu'ils réclament entre les repas ou non (à droite)	102

Figure 64 : Répartition, en nombre, des modalités de conservation des aliments par les propriétaires	103
Figure 65 : Répartition des répondants selon qu'ils modifient ou non la ration de leur en fonction de la charge d'activité.....	103
Figure 66 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les modalités d'adaptation de leur ration à leur charge d'activité.....	104
Figure 67 : Répartition des croquettes utilisées par les répondants en fonction de leur teneur en céréales	104
Figure 68 : Répartition des croquettes utilisées par les répondants en fonction de leur densité énergétique (en kcal d'EM pour 100 g d'aliment selon la formule NRC 2006)	105
Figure 69 : Répartition des croquettes utilisées par les répondants en fonction de leur teneur en protéines et en matières grasses, exprimées en pourcentage de matière brute	106
Figure 70 : Répartition des répondants selon leur méthode de mesure de la quantité de croquettes	106
Figure 71 : Répartition des répondants selon qu'ils ajoutent ou non des compléments alimentaires à la ration de leur chien	108
Figure 72 : Répartition des répondants selon la durée d'utilisation des compléments alimentaires dans la ration de leur chien	110
Figure 73 : Répartition des répondants selon qu'ils utilisent ou non un snack de charge pour leur chien avant un effort.....	110
Figure 74 : Répartition, en nombre, des conditions d'utilisation du snack de charge que les répondants donnent à leur chien	111
Figure 75 : Répartition des répondants selon le moment où ils distribuent le snack de charge à leur chien par rapport à l'effort.....	112
Figure 76 : Répartition des répondants selon qu'ils utilisent ou non un snack de récupération après un effort.....	112
Figure 77 : Répartition, en nombre, des conditions d'utilisation du snack de récupération que les répondants donnent à leur chien	113
Figure 78 : Répartition des répondants selon le moment où ils distribuent le snack de récupération à leur chien par rapport à l'effort.....	114
Figure 79 : Répartition des répondants selon leurs modalités de distribution de l'eau les jours d'effort.....	114
Figure 80 : Répartition des répondants selon le délai entre le retrait de l'eau et l'effort.....	115
Figure 81 : Répartition des répondants selon qu'ils réchauffent ou non l'eau proposée.....	115

Figure 82 : Répartition des répondants selon qu'ils proposent ou non une réhydratation pendant l'effort	116
Figure 83 : Répartition des répondants selon qu'ils utilisent ou non une solution électrolytique ou une autre source d'hydratation pour leur chien.....	116
Figure 84 : Répartition, en nombre, des répondants selon le moment où ils distribuent la solution de réhydratation à leur chien par rapport à l'effort	117
Figure 85 : Répartition, en nombre, des conditions d'utilisation de la solution électrolytique que les répondants donnent à leur chien	118
Figure 86 : Répartition, en nombre, des sujets des fiches d'informations souhaités par les répondants	118
Figure 87 : Répartition, en nombre, des supports des fiches d'informations souhaités par les répondants	119

Liste des tableaux

Tableau 1 : Adaptation des distances de course par disciplines en fonction de la température ambiante (FFST, 2021)	22
Tableau 2 : Classement des activités canines selon le type d'exercice physique (Toll et Reynolds, 2000).....	23
Tableau 3 : Puissance maximale permise par les différentes voies métaboliques dans un muscle humain (Hochachka, 1991)	33
Tableau 4 : Consommation d'oxygène, et taux d'oxydation des lipides et des glucides chez le chien à différents intensités d'exercice (Roberts <i>et al.</i> , 1996).....	34
Tableau 5 : Coefficients multiplicateurs à appliquer au BEE pour obtenir le BE (Blanchard et Paragon, 2020; Lefebvre, 2019)	44
Tableau 6 : Adaptation du BE par rapport au BEE en fonction du type d'activité physique chez le chien (d'après Grandjean et al., 1991).....	46
Tableau 7 : Classification des acides aminés chez les carnivores domestiques (Blanchard et Paragon, 2020)	47
Tableau 8 : RPC minimal à l'entretien en fonction du format de l'animal (Blanchard et Paragon, 2020).....	49
Tableau 9 : Recommandations en protéines et en acides aminés chez le chien à l'entretien (NRC, 2006).....	49
Tableau 10 : Recommandations en lipides et en acides gras chez le chien à l'entretien (NRC, 2006).....	55
Tableau 11 : Recommandations en vitamines liposolubles chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; FEDIAF, 2019; Lefebvre, 2019; NRC, 2006)	63
Tableau 12 : Sources, effets d'une carence et recommandations en vitamines du groupe B chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; Gross <i>et al.</i> , 2000; NRC, 2006).....	65
Tableau 13 : Fonctions et sources des macro-minéraux (Blanchard et Paragon, 2020; Gross <i>et al.</i> , 2000).....	68
Tableau 14 : Effets d'un excès ou d'une carence et recommandations en macro-minéraux chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; Gross <i>et al.</i> , 2000; NRC, 2006).....	69
Tableau 15 : Fonctions et sources des oligo-éléments (Blanchard et Paragon, 2020; Gross <i>et al.</i> , 2000).....	70
Tableau 16 : Effets d'un excès ou d'une carence et recommandations en oligo-éléments chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; Gross <i>et al.</i> , 2000; NRC, 2006).....	71

Tableau 17 : Aliments frais utilisés par les répondants fournissant une ration mixte à leur chien.	107
Tableau 18 : Aliments frais utilisés par les répondants fournissant une ration ménagère ou une autre ration fraîche à leur chien	108
Tableau 19 : Répartition des compléments alimentaires utilisés par les répondants pour leur chien	109
Tableau 20 : Répartition des snacks de charge utilisés par les répondants pour leur chien.....	111
Tableau 21 : Répartition des snacks de récupération utilisés par les répondants pour leur chien	113
Tableau 22 : Répartition des produits de réhydratation utilisés par les répondants pour leur chien	117

Liste des abréviations

AAFCO : Association of American Feed Control Officials

ADN : Acide Désoxyribo Nucléique

ADP : Adénosine Di Phosphate

AGCM : Acides Gras à chaîne Courte et Moyenne

AGE : Acide Gras Essentiel

AGLP : Acides Gras Libres Plasmatiques

AGPI : Acides Gras Poly-Insaturés

ATP : Adénosine Tri Phosphate

BARF : Biologically Appropriate Raw Food

BCAA : Branched-Chain Amino Acid

BE : Besoin Energétique

BEC : Besoin Energétique de Course

BEC_{incr} : Besoin Energétique de Course Incrémentiel

BEC_{tot} : Besoin Energétique de Course Total

BEE : Besoin Energétique d'Entretien

CMV : Compléments Minéraux et Vitaminiques

CO₂ : Dioxyde de Carbone

CUD : Coefficient d'Utilisation Digestive

CUDMS : Coefficient d'Utilisation Digestive de la Matière Sèche

DMG : Diméthyl Glycine

EM : Energie Métabolisable

ESD : European Sled Dog

FSLC : Fédération des Sports et Loisirs Canins

IFSS : International Federation of Sleddog Sports

Kcal : Kilocalorie

Kcal EM : Kilocalorie d'Energie Métabolisable

Mcal : Mégacalorie

Mcal EM : Mégacalorie d'Énergie Métabolisable

MICI : Maladie Inflammatoire Chronique de l'Intestin

MS : Matière Sèche

NEC : Note d'État Corporel

NRC : National Research Council

O₂ : Dioxygène

P_{chien} : Poids du chien

P_{charge} : Poids de la charge à tracter

SCC : Société Centrale Canine

SOD : Super Oxyde Dismutase

UMES : Unité de Médecine de l'Élevage et du Sport

VO₂ : Volume de dioxygène consommé

VO₂max : Volume de dioxygène consommé maximal

Introduction

Historiquement, le chien a d'abord été utilisé pour ses capacités de travail, mais aujourd'hui il est considéré par de nombreux propriétaires comme un membre de la famille. Aussi, les activités canines se diversifient, permettant aux propriétaires de chiens de les dépenser et de renforcer le lien avec eux.

Le canicross, sport de traction mono-chien, est une activité relativement récente. En France, les premières compétitions ont été organisées dans les années 80. Depuis, ce sport ne cesse de se développer, avec une augmentation considérable du nombre de clubs sportifs et de pratiquants. Des sports similaires ont également vu le jour, comme le caniVTT et la canitrottinette. L'expansion du canicross s'accompagne d'une augmentation du niveau sportif des chiens. Même si la discipline reste majoritairement un sport de loisir, certains chiens peuvent être considérés comme de vrais athlètes. Leur préparation physique, mentale, et nutritionnelle doit donc faire partie intégrante de la pratique.

Lorsqu'un chien pratique une activité sportive régulière, son besoin nutritionnel est modifié par la dépense énergétique, le stress induit par l'entraînement et la compétition, et la déshydratation. Il est bien connu qu'une alimentation parfaitement équilibrée, et surtout adaptée au type d'effort demandé au chien et au stade d'entraînement ou de compétition, contribue largement à prévenir l'apparition de pathologies métaboliques, osseuses, musculaires et tendineuses. Cependant, l'alimentation du chien de sport a été documentée dans peu de disciplines. Les principales données scientifiques dont nous disposons actuellement concernent le lévrier de course (modèle de sprinter) et le chien de traîneau (modèle d'endurance). Cela amène les propriétaires de chiens pratiquants le canicross à suivre des méthodes qui n'ont pas toujours de fondements scientifiques. Ainsi, le but de cette thèse est de faire l'état des lieux des habitudes des pratiquants de canicross concernant l'alimentation de leur chien, et de leur apporter des connaissances scientifiques sur des sujets primordiaux.

Une première partie bibliographique sera dédiée à la présentation de l'évolution de cette discipline, des races de chiens fréquemment rencontrées, et de sa pratique en elle-même. Puis, la physiologie de l'effort sera rappelée, avec notamment le processus de la contraction musculaire, les métabolismes énergétiques, et les conséquences biologiques et biochimiques de l'effort. Enfin, des notions sur l'alimentation et les besoins des chiens sportifs seront également abordées afin de déterminer le régime le plus adapté aux chiens de canicross. Une deuxième partie sera consacrée à la présentation des résultats de l'enquête réalisée dans le cadre de ce travail. Cette enquête se présentait sous la forme d'un questionnaire qui a été élaboré et diffusé auprès des pratiquants de canicross dans le but de recenser leurs habitudes d'alimentation de leur chien. Enfin, des fiches informatives à destination des pratiquants de canicross ont été élaborées en s'appuyant sur les résultats de l'enquête. Elles constituent la finalité de ce travail et sont présentées en dernière partie.

Première partie : bibliographie

1. Présentation du canicross et des disciplines associées

A. Historique et développement

a. *Les origines du canicross*

Le canicross est une discipline issue des sports d'attelage canin, mais ses origines ne sont pas bien connues, bien qu'assez récentes.

En France, la première compétition d'attelage canin a lieu en 1978, sur neige. Après l'organisation des premiers championnats d'Europe en Suisse en 1983, le développement de ce sport canin amène le Ministère de la Jeunesse et des Sports à reconnaître officiellement la discipline en 1984.

Dans les années 80, les compétitions de canicross voient le jour en France. La première est organisée à Paris par le syndicat des vétérinaires. Puis la seconde a lieu à l'école vétérinaire de Lyon, organisée par le vétérinaire Gilles Pernoud. Dans les années 90, les premiers règlements sont établis par ce dernier, et les premières gammes de matériel spécifique apparaissent. Enfin, la discipline est reconnue par la Société Centrale Canine (SCC) en 2005 (Lasbleiz, 2007).

Le caniVTT, ou bike-joering, naît en 1990 en République Tchèque suite à un manque de neige lors d'une course de ski-joering. Initialement, le principe est de ne pas pédaler afin que seule la traction mette le binôme en mouvement, puis le règlement est modifié afin d'aider le chien dans son effort. La canitrottinette, originaire de l'Amérique du Nord, est une discipline beaucoup plus récente en France. (Foubert, 2020)

b. *Un nouveau sport de haut niveau*

Depuis quelques années, le canicross connaît un essor considérable parmi les propriétaires de chiens. Cela peut notamment s'observer au niveau des statistiques des fédérations françaises de sports de traction canine. Par exemple, la Fédération Française des Sports de Traîneaux (FFST), qui a lancé ces nouvelles disciplines, compte 59 clubs affiliés, totalisant 1111 licenciés en 2022, dont 307 pratiquant principalement le canicross. Aussi, entre 2016 et 2021, le nombre de clubs affiliés à la Fédération des Sports et Loisirs Canins (FSLC) est passé de 66 à 139, soit une progression de 211%, et le nombre de licenciés (toutes catégories et disciplines confondues) est passé de 1160 à 2912, soit une progression de 251% (voir figures 1 et 2).

Figure 1 : Evolution du nombre de clubs affiliés à la FSLC entre 2016 et 2021

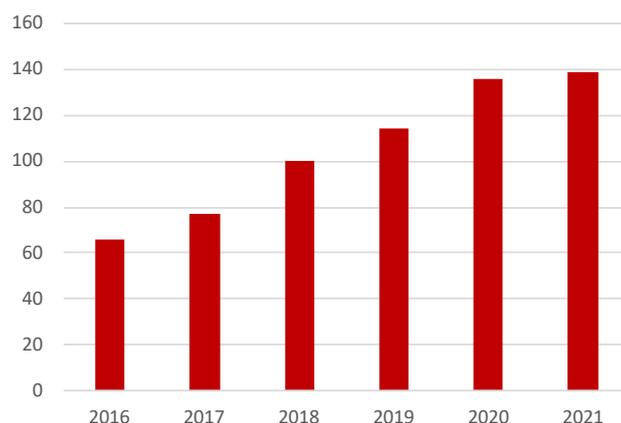
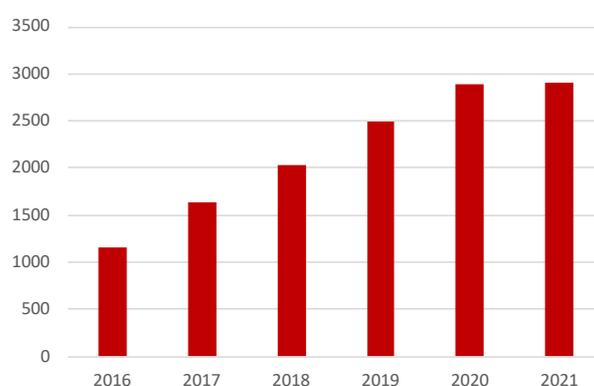
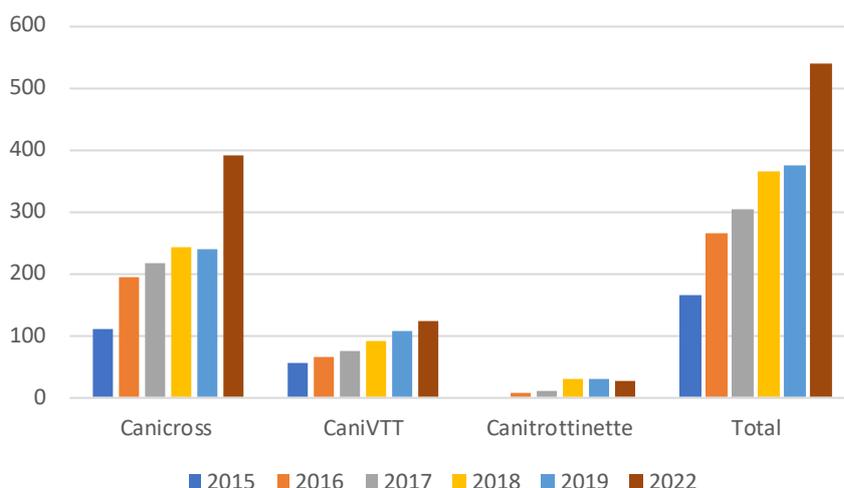


Figure 2 : Evolution du nombre de licenciés à la FSLC entre 2016 et 2021 (toutes catégories et disciplines confondues)



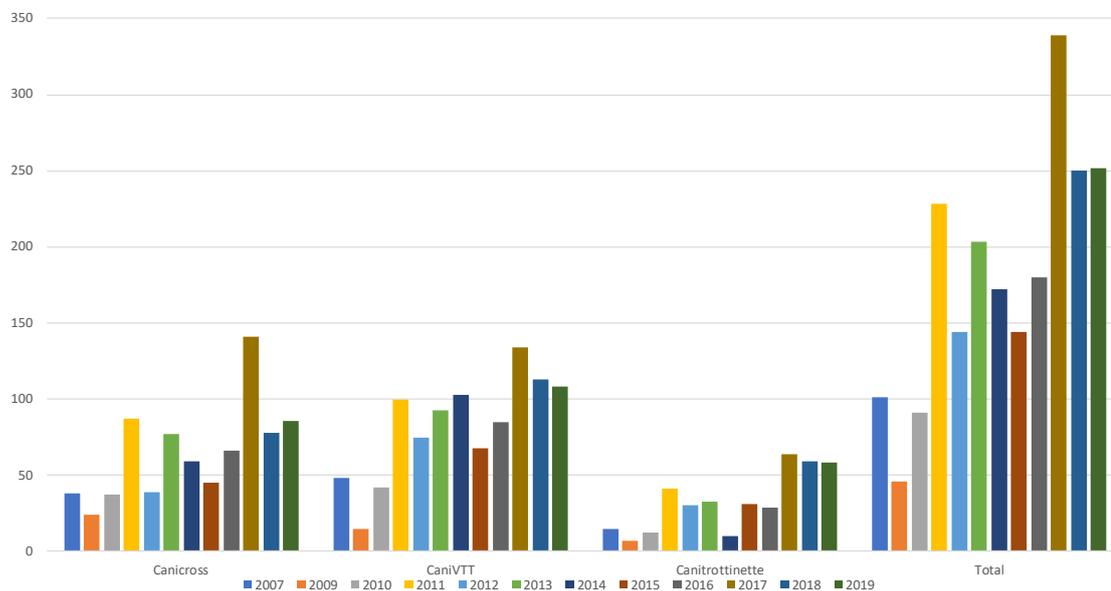
On observe un nombre croissant de compétiteurs parmi les pratiquants français. Le Trophée Fédéral Terre de la FSLC compte de plus en plus de participants chaque année. Entre 2015 et 2022, le nombre d'inscrits (toutes disciplines confondues) est passé de 167 à 541, soit une augmentation de 324% (voir figure 3).

Figure 3 : Evolution du nombre de participants par discipline au Trophée Fédéral Terre de la FSLC entre 2015 et 2022



La fédération internationale des sports de traîneau à chiens (IFSS), dont est membre la FFST, recense également de plus en plus de compétiteurs internationaux lors des championnats d'Europe et du Monde. L'études des statistiques de participation entre 2007 et 2019 montre des effectifs qui ont plus que doublé dans toutes les disciplines (voir figure 4).

Figure 4 : Evolution du nombre de participants par discipline aux championnats internationaux IFSS (européens et mondiaux) entre 2007 et 2019



Par conséquent, le niveau de performance est en constante progression. Les binômes atteignent des vitesses de plus en plus élevées, et le nombre de binômes de haut niveau augmente. Cela s'observe notamment lors des championnats européens et mondiaux IFSS entre 2007 et 2019. Dans toutes les disciplines, de plus en plus de binômes atteignent des vitesses égales ou supérieures à 20 km/h sur des parcours longs (entre 4 et 8 km). En caniVTT et canitrottinette, cette observation est à corréliser avec le nombre croissant de participants. En effet,

dans ces disciplines, la proportion de binômes atteignant des vitesses égales ou supérieures à 20 km/h reste stable entre 2007 et 2019. En revanche, en canicross, la proportion de binômes atteignant des vitesses égales ou supérieures à 20 km/h augmente fortement, elle a triplé entre 2007 et 2019 (voir figures 5 et 6).

Figure 5 : Evolution du nombre de participants par discipline ayant une vitesse moyenne égale ou supérieure à 20 km/h sur le parcours long (entre 4 et 8 km) lors des championnats internationaux IFSS (européens et mondiaux) entre 2007 et 2019

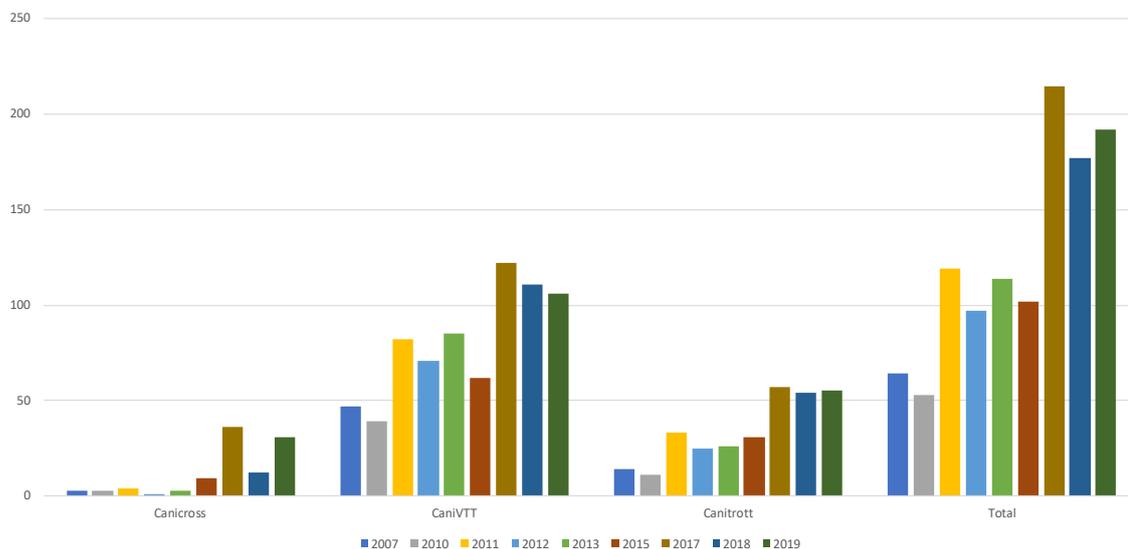
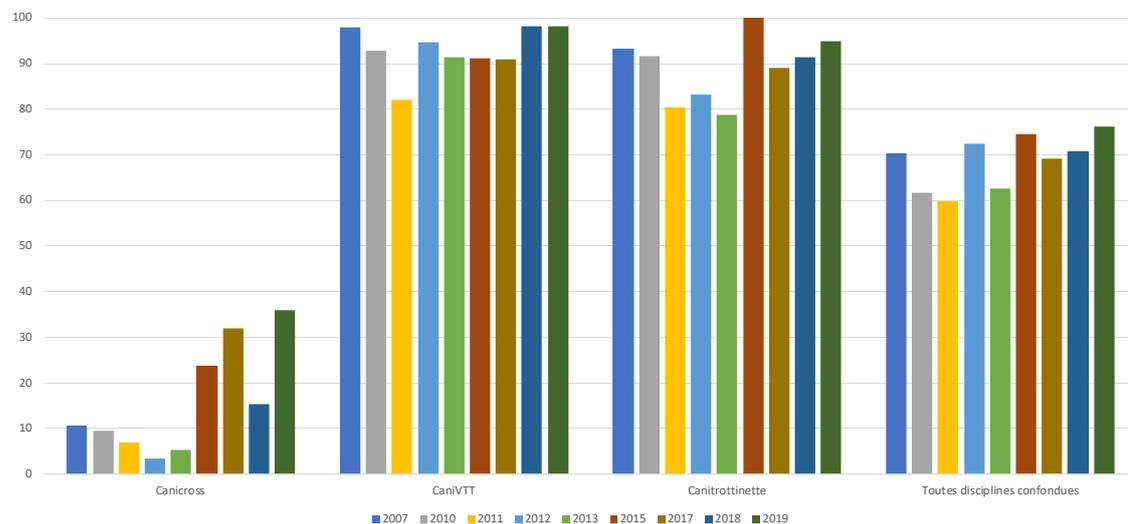


Figure 6 : Evolution du pourcentage de participants par discipline ayant une vitesse moyenne égale ou supérieure à 20 km/h sur le parcours long (entre 4 et 8 km) lors des championnats internationaux IFSS (européens et mondiaux) entre 2007 et 2019



Ainsi, le canicross et les disciplines associées s'orientent de plus en plus vers des sports de haut niveau. Par ailleurs, de nombreux compétiteurs ayant des objectifs de performance se tournent désormais vers des coaches sportifs proposant des programmes de préparation physique et mentale, parfois même spécifiques au canicross.

B. Pratiquer le canicross

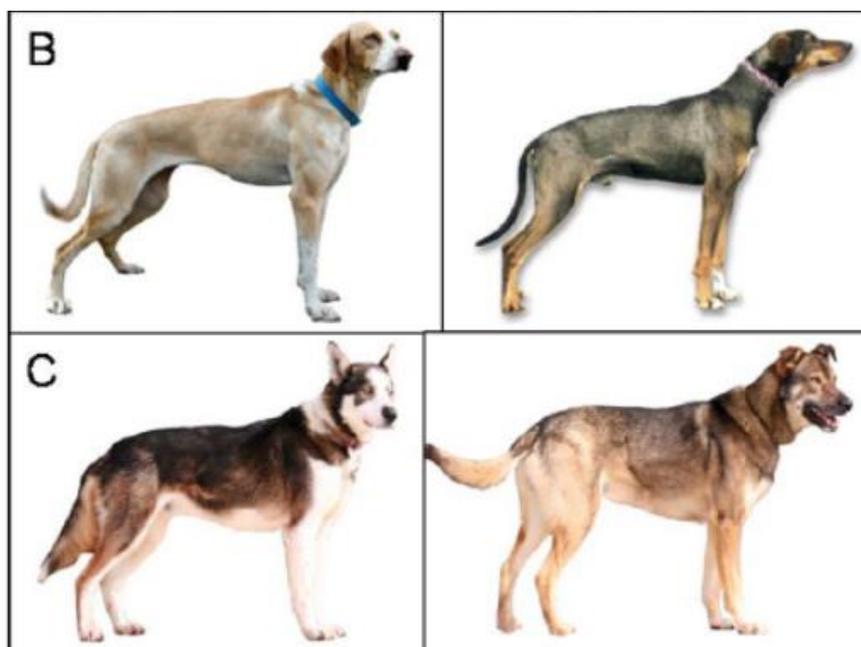
a. Les chiens pouvant pratiquer les sports de traction

D'après le règlement de course de la FSLC, tous les chiens sont admis à participer « sans distinction de race et de pedigree (sauf chien de catégorie 1) ». Ainsi, le canicross est ouvert à toutes les races de chien, ainsi qu'aux chiens croisés. Cependant, certaines races sont rencontrées plus fréquemment que d'autres. On retrouve principalement des chiens nordiques (Husky de Sibérie, Malamute, etc.), ayant une bonne aptitude au travail dur, à la course rapide, et la faculté de parcourir de grandes distances en tirant une charge, des chiens de chasse (Braque, Pointer, etc.), plus rapides sur des distances courtes et plus adaptés psychologiquement à un effort solitaire, et des chiens de bergers (Berger Belge Malinois, Berger Australien, Border Collie, etc), connus pour leurs qualités d'athlétisme, de dynamisme, et d'aptitude à l'obéissance. (Fuhrer *et al.*, 1991; Grandjean, 1991a; Varlet, 1991)

Depuis plusieurs années, de nouvelles races sont sélectionnées spécifiquement pour les sports de traction, mais elles ne sont pas reconnues par la SCC, ni par la Fédération Cynologique Internationale (FCI).

L'Alaskan Husky est issu d'un croisement de races nordiques (Malamute d'Alaska, Husky de Sibérie), de chiens de chasse (Pointer, Braque, Setter), de lévriers (Barzoï, Saluki) et de chiens de bergers (Berger d'Anatolie, Berger Allemand). Il n'existe pas de standard particulier, chaque musher faisant ses propres croisements afin d'améliorer la puissance, l'endurance ou la foulée de ses chiens selon ses objectifs. Ainsi, deux types d'Alaskan Husky se développent de manière distincte : les profils « sprint », plutôt typés chiens de chasse, et les profils « endurance », plutôt typés chiens nordiques (voir figure 7). (Huson *et al.*, 2010)

Figure 7 : Photographies d'Alaskan Husky lignées sprint (B) et lignées d'endurance (C) (Huson *et al.*, 2010)



L'Eurohound (ou Scandinavian Hound) et l'European Sled Dog (ESD) sont deux races issues de croisements entre des Alaskan Husky et des chiens de chasse (Pointer, Braque). Ce

sont des chiens rapides, fins et musclés, qui ont été créés pour les courses de chiens de traîneau de sprint ou de moyenne distance (voir figure 8). Mais leurs ancêtres n'étant pas les mêmes, ce sont aujourd'hui deux lignées bien distinctes. (Fontaney, 2019)

Figure 8 : Photographies d'un attelage d'Eurohound (à gauche), et d'un ESD (à droite)



Le Greyster est un croisement entre des lévriers Greyhound et des Braque Allemand, parfois avec un peu de Pointer ou de Lévrier Hongrois, afin d'obtenir des chiens puissants et rapides (voir figure 9). Ces chiens étaient d'abord créés pour la pulka et le ski-jöering, mais ils sont aujourd'hui très populaires sur terrain sec notamment en caniVTT. (Fontaney, 2019)

Figure 9 : Photographie d'un Greyster



Ainsi, de nombreux types de chiens peuvent pratiquer le canicross, que ce soit un chien de race pure, un croisé, ou une race sélectionnée spécifiquement pour les sports de traction. Le principal est de choisir un chien qui correspond au mode de vie et au niveau sportif du propriétaire. Il faut aussi garder à l'esprit que la race du chien est un facteur à prendre en compte pour son entraînement, mais également son alimentation.

b. Le matériel nécessaire

Le matériel nécessaire aux sports de traction mono-chien se compose de trois éléments principaux : un harnais spécifique pour le chien, une ligne de trait élastique, ainsi qu'un matériel propre à la discipline pour l'humain (voir figure 10).

Le harnais est commun à la pratique du canicross, du caniVTT et de la canitrottinette. Il doit être spécifique à la traction et adapté à la morphologie du chien. Il doit notamment dégager les épaules et les omoplates, ne pas écraser la trachée, se positionner au niveau des dernières côtes (pas derrière celles-ci), et se terminer à la base de la queue. Il existe une multitude de modèles, mais certains types de harnais sont proscrits pour la traction, par exemple les harnais avec une bande horizontale au niveau du poitrail bloquant les épaules du chien.

La laisse reliant le chien et le maître doit répondre à certaines normes pour la sécurité et le confort du chien. Elle doit avoir une partie élastique pour amortir les chocs et avoir une longueur bien définie selon les fédérations. Elle est plus longue en caniVTT et canitrottinette.

Concernant le maître, cela dépend de la discipline. En canicross, il doit porter une ceinture abdominale d'une largeur de 7 cm minimum ou un baudrier. En caniVTT et canitrottinette, une barre de guidage est facultative mais fortement conseillée. En revanche le port du casque ainsi que le port de gants ou mitaines sont obligatoires (FSLC, 2022).

Figure 10 : Matériel nécessaire en canicross (en haut), en caniVTT (en bas à gauche), et en canitrottinette (en bas à droite)



c. Type de terrain et environnement

Lors d'une compétition, les distances des parcours varient entre 1 et 9 km selon les catégories. Elles sont définies par l'organisateur en fonction de la configuration du paysage (relief, ombrage). Les parcours sont principalement composés de chemins et de sous-bois. Ils peuvent comporter des portions techniques ainsi que du dénivelé plus ou moins important.

L'organisateur se doit d'adapter les distances et les horaires de départ en fonction des conditions météorologiques du jour, notamment la température (voir tableau 1). Au-delà de 25°C, toute course doit être annulée. (FFST, 2021)

Tableau 1 : Adaptation des distances de course par disciplines en fonction de la température ambiante (FFST, 2021)

	Canicross	CaniVTT	Canitrottinette
< 16°C	Conditions normales	Conditions normales	Conditions normales
De 16 à 18°C	Distances <50 % des maxima	Distances <50 % des maxima	Distances <50 % des maxima
De 18 à 20°C	Distances <50 % des maxima	Distances <50 % des maxima	Distances <25 % des maxima
De 20 à 22°C	Distances <25 % des maxima	Distances <25 % des maxima	Distances <25 % des maxima
De 22 à 25°C	Distances <25 % des maxima	Interdit	Interdit
> 25°C	Interdit	Interdit	Interdit

Quelle que soit la température, l'organisateur doit proposer un système pour mouiller les chiens au départ et à l'arrivée. Si la distance du parcours est supérieure à 5 km, l'organisateur a l'obligation de prévoir un point d'eau à mi-parcours. Dès que la température est supérieure à 20°C, un point d'eau tous les 2 km est obligatoire. (FSLC, 2022)

C. L'entraînement du chien à un type d'effort particulier

a. Les principes de l'entraînement

Il est recommandé d'attendre que la croissance du chien soit terminée avant de commencer l'entraînement en traction. Il faut attendre que les plaques de cartilage de croissance soient correctement fermées, soit aux 10 mois du chien en moyenne. (Ticer, 1975) En effet, un entraînement intensif trop précoce provoque le développement d'ostéophytes, la diminution de la densité minérale osseuse et altère les propriétés structurales des os, ce qui peut être à l'origine d'affections ostéoarticulaires. (Puustjärvi *et al.*, 1995) D'ailleurs, dans le règlement de course de la FSLC, les chiens ne peuvent pas prendre le départ avant 15 mois (18 mois pour le caniVTT et la canitrottinette). Ainsi, il est recommandé de ne commencer à entraîner sérieusement un chien qu'à partir de l'âge d'un an si l'on veut optimiser sa réussite et sa longévité. (Grandjean *et al.*, 2002)

Cependant, avant de commencer les entraînements en traction, il est nécessaire de renforcer la complicité qui lie le chien à son maître et de donner au chien l'envie de courir. Il est également possible de commencer à imprégner le chien de son futur environnement, notamment en le désensibilisant au port du harnais et en lui apprenant les différents signaux de directions. Il est enfin possible d'initier sa préparation physique en réalisant des sorties très courtes et de faible intensité. (Foubert, 2020)

L'apprentissage de la traction peut se faire de plusieurs manières. Il est souvent conseillé de débiter par des séances en groupe avec d'autres binômes plus expérimentés. En effet, le mimétisme est une bonne méthode de conditionnement chez le chien. Aussi, les premières séances en traction correspondent à des séances d'éducation et doivent être courtes. Par exemple, le premier mois, le travail attelé ne devra pas dépasser 1 km au total. (Metz, 1991)

Ensuite, le plan d'entraînement s'élabore dans le but de développer, via des séances spécifiques, l'endurance, la puissance et la vitesse du chien. Pour ce faire, il faut inclure des entraînements « en continu » et des entraînements « fractionnés ». L'entraînement du chien doit également prendre en compte sa motivation, qui doit être entretenue tout au long de sa carrière. Cela passe par la variation des terrains, des parcours, des exercices demandés, etc. (Foubert, 2020)

b. Le canicross, une activité de type intermédiaire

Le chien est une espèce animale très diversifiée en termes de capacités sportives. Les deux extrêmes sont représentés par le lévrier de course et le chien de traîneau. Le premier est capable de sprinter sur 400 mètres à des vitesses de pointe supérieures à 60 km/h. Le second est capable de parcourir de très longues distances plusieurs jours de suite à des températures glaciales. Cependant, la plupart des chiens, dont les chiens de canicross, réalisent des activités de travail, de chasse ou de sport qui se situent entre ces deux extrêmes, comme le montre le classement du tableau 2. (Toll et Reynolds, 2000)

Tableau 2 : Classement des activités canines selon le type d'exercice physique (Toll et Reynolds, 2000)

Type d'exercice physique	Activités
Sprint	Course de lévriers Poursuite à vue Traction de charge (« weight pulling »)
Intermédiaire	Frisbee, agility Pistage, campagne Activité avec l'homme (course, vélo) Troupeau Chasse (gibier à poils ou à plumes, « field trials », poursuite) Travail (assistance, police, armée, douanes, lutte anti-drogue, recherche, sauvetage)
Endurance	Course de traîneau Expédition

L'intensité de l'effort en canicross peut être estimée selon la durée de l'effort, le dénivelé et profil du terrain, la force de la traction fournie, mais aussi en fonction du niveau sportif de l'humain. Les courses de canicross se réalisent sur des distances comprises entre 1,5 et 9 km, sur des terrains assez accidentés, avec parfois un relief cumulé important. On peut trouver des parcours très variés, entre le parcours de vitesse de 3 à 5 km plutôt plat et rapide, et de plus longues distances jusqu'à 8 km avec un dénivelé montagneux. (Foubert, 2020) L'effort peut durer de quelques minutes à une heure.

Ainsi, le canicross est plutôt une activité intermédiaire d'intensité moyenne avec, selon les conditions de courses, des phases d'intensité élevée (lors d'une côte ou d'un sprint final par exemple). Les besoins nutritionnels seront donc bien différents du lévrier de course et du chien de traîneau.

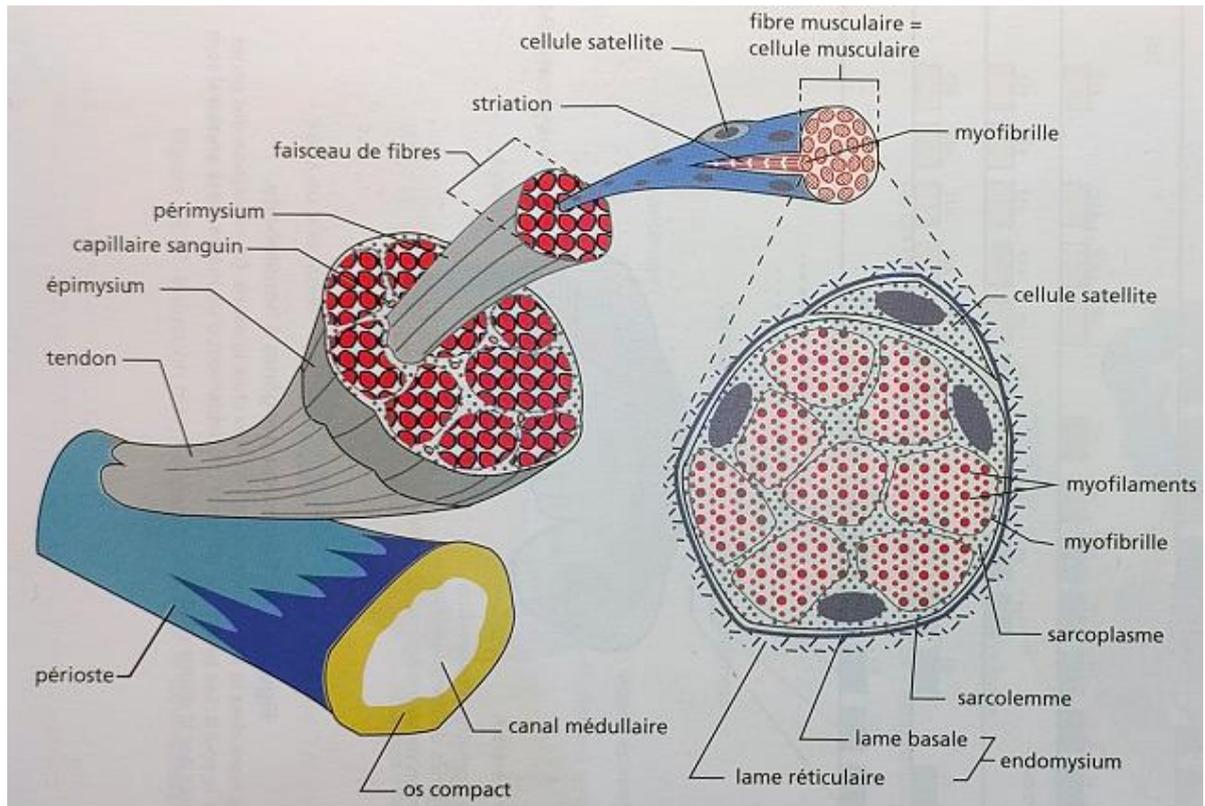
2. Physiologie de l'effort chez le chien

A. La contraction musculaire

a. Architecture du muscle strié squelettique

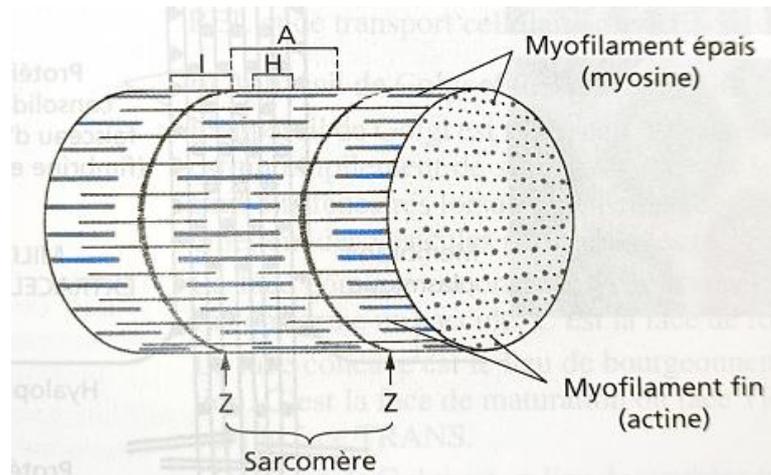
Comme le montre la figure 11, un muscle strié squelettique est composé de nombreuses cellules, ou fibres musculaires, organisées en faisceaux. Chaque fibre musculaire est composée de nombreuses myofibrilles, elles-mêmes constituées de myofilaments

Figure 11 : Agencement des fibres au niveau du muscle squelettique (Peycru, 2010)



On distingue des myofilaments épais de myosine et des filaments fins d'actine dont l'association permet la réalisation d'un système contractile comme le montre la figure 12. L'unité de structure d'une myofibrille s'appelle un sarcomère.

Figure 12 : Organisation schématique d'une myofibrille (Peycru, 2010)



b. Différents types de fibres

Initialement, les scientifiques distinguaient les muscles squelettiques en se basant sur leur couleur rouge ou blanche, et sur leur contractilité rapide ou lente. Aujourd'hui, les différents types de fibres musculaires peuvent être distingués en fonction de leurs propriétés mécaniques, biochimiques et métaboliques. Les critères couramment utilisés pour leur classification sont la rapidité de contraction, la fatigabilité, la voie enzymatique principale et l'isoforme de myosine exprimé par la cellule. À partir de ces critères, les auteurs distinguent quatre types de fibres.

Les fibres de type I sont généralement associées à un muscle rouge, car elles sont riches en myoglobine, et à contraction lente. Elles sont caractérisées par un métabolisme oxydatif et sont spécialisées pour un effort long.

À l'inverse, les fibres de type II sont généralement associées à un muscle blanc et à contraction rapide. Elles sont caractérisées par un métabolisme principalement glycolytique et sont adaptées à des efforts brefs. On différencie 3 sous-types (Qaisar *et al.*, 2016; Schiaffino et Reggiani, 2011) :

- Les fibres de type IIa, dont le métabolisme est mixte (glycolyse et oxydation), et résistantes à la fatigue.
- Les fibres de type IIb, rapidement fatigables.
- Les fibres de type IIx, qui ont une fatigabilité intermédiaire entre les fibres IIa et IIb.

Les muscles des chiens contiennent des fibres de type I et des fibres de type IIa, mais ils ne contiennent pas de fibres de type IIb que l'on retrouve chez d'autres animaux comme les chats, qui sont adaptés au sprint. (Hill, 2012) Ils contiennent également des fibres de type IIx, plus fréquemment sous la forme de fibres hybrides IIa-IIx que sous une forme pure. (Toniolo *et al.*, 2007)

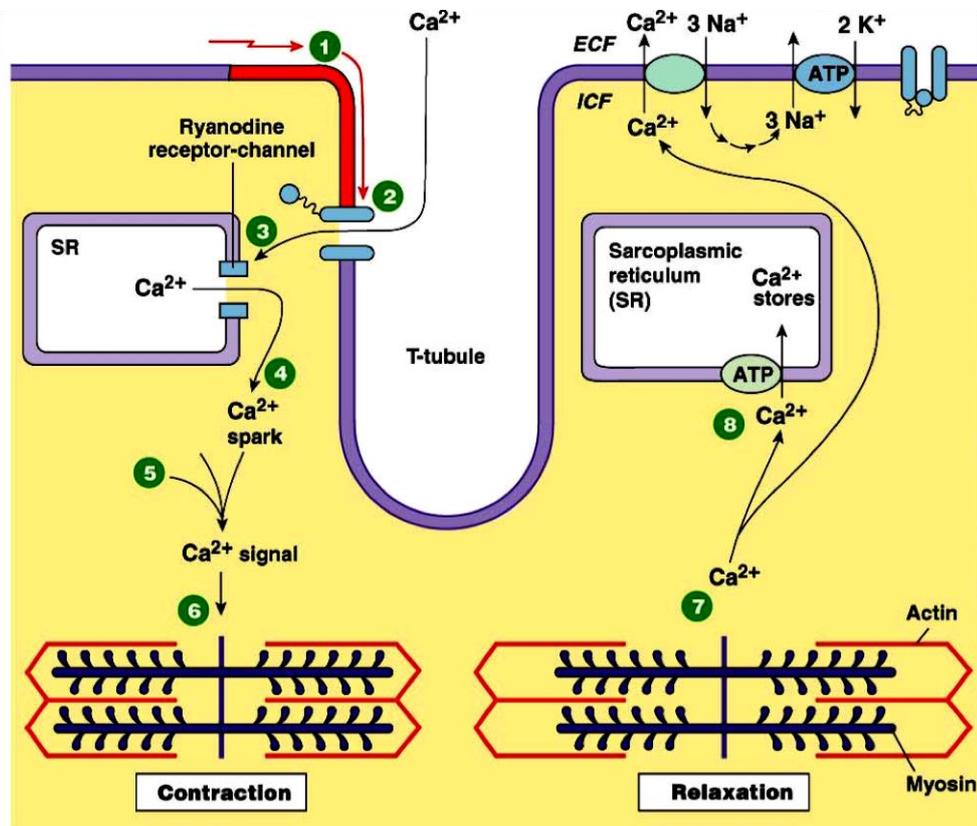
c. Importance de l'ATP dans la contraction de la cellule musculaire squelettique

La contraction musculaire est initiée par une onde de dépolarisation parvenant à la cellule musculaire par un nerf moteur.

Chaque cellule musculaire striée squelettique est innervée par un nerf moteur. Un neuromédiateur, l'acétylcholine, est libéré dans la synapse neuro-musculaire et se lie aux

récepteurs nicotiques situés sur la membrane de la cellule musculaire. Cette fixation de l'acétylcholine sur ses récepteurs permet de générer une onde de dépolarisation qui a pour conséquence une entrée massive d'ions calcium dans le cytoplasme depuis le réticulum sarcoplasmique comme le montre la figure 13. (Gogny et Souilem, 1995)

Figure 13 : Schéma du couplage excitation-contraction (Roussakis, 2015)

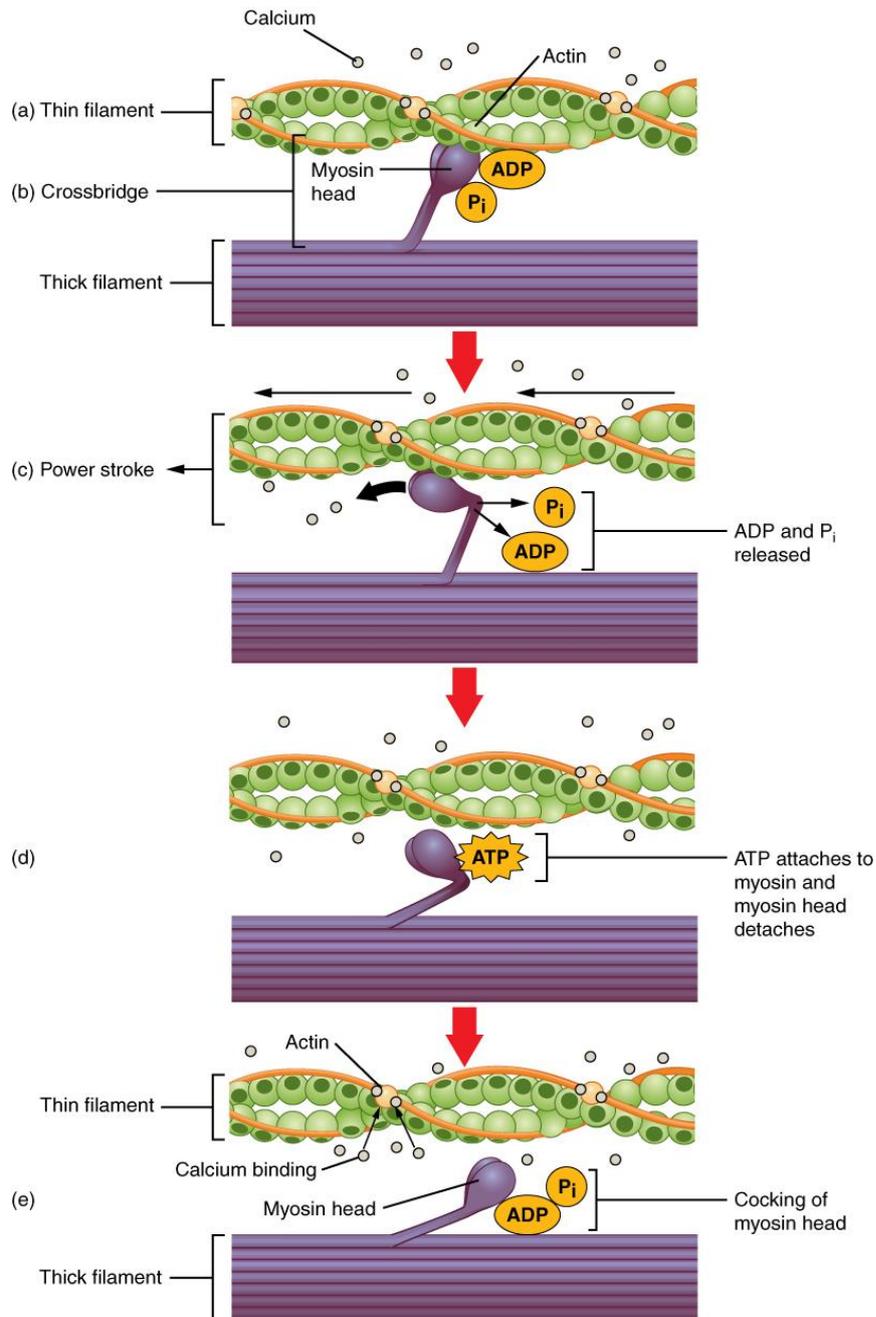


Le calcium a pour rôle de se fixer sur la troponine, afin de modifier la conformation du complexe troponine-tropomyosine. Cela permet de démasquer le site de liaison entre l'actine et la myosine. Comme le montre la figure 14, en présence de calcium, la tête de myosine peut se fixer au filament d'actine (figure 14.a et b). La libération d'une molécule d'adénosine diphosphate (ADP) et d'un ion phosphate permet le basculement de la tête de myosine (figure 14.c). La cellule musculaire se contracte alors grâce au raccourcissement des sarcomères, permis par le coulissement des filaments d'actine et de myosine.

La contraction musculaire s'arrête lorsque le signal du motoneurone est terminé. Comme le montre la figure 13, les ions calcium sont réabsorbés par le réticulum sarcoplasmique et par le milieu extracellulaire selon des mécanismes consommateurs d'adénosine triphosphate (ATP). La troponine retrouve sa conformation initiale et la tête de myosine se détache de l'actine. Une nouvelle molécule d'ATP se lie à la tête de myosine (figure 14.d), et la lyse de l'ATP en ADP et phosphate permet le retour de la tête de myosine dans sa position initiale (e).

Un muscle peut également arrêter de se contracter lorsque les stock d'ATP sont épuisés. (Betts *et al.*, 2017; Gogny et Souilem, 1995)

Figure 14 : Mécanisme de la contraction musculaire (Betts *et al.*, 2017)



d. Rôle du magnésium dans le métabolisme de la contraction musculaire

Le magnésium est impliqué dans plus de 300 réactions enzymatiques, faisant de cet élément un des minéraux les plus abondants de l'organisme. Il permet notamment de maintenir une fonction musculaire normale, et il joue un rôle important dans la production et le stockage d'énergie. (Volpe, 2015)

Le magnésium est un élément principalement intracellulaire, et on le retrouve surtout dans les os et les muscles. En formant le complexe ATP-Mg, il intervient en tant que cofacteur de la lyse de l'ATP en ADP. Il active aussi de nombreuses enzymes, notamment au sein des réactions génératrices d'ATP. Enfin, lors de la contraction musculaire, le magnésium stimule la réabsorption du calcium par le réticulum sarcoplasmique. (Jahnen-Dechent et Ketteler, 2012)

B. Le métabolisme énergétique du muscle

Pour que le chien puisse soutenir un exercice physique intense et/ou prolongé, le muscle doit régénérer en permanence de l'ATP. En effet, l'énergie chimique consommée lors de contraction musculaire provient uniquement des liaisons phosphates riches en énergie de l'ATP. De plus, le stock d'ATP dans le muscle est faible et il n'est pas possible d'en fournir artificiellement. Pour le régénérer, trois voies métaboliques interviennent. (Cléro et Grandjean, 2011; Grandjean *et al.*, 1991b)

a. Voie anaérobie alactique

L'anaérobiose alactique assure une resynthèse instantanée d'ATP à partir de la créatine phosphate selon le mécanisme illustré sur la figure 15.

Figure 15 : Fourniture d'ATP par la créatine phosphate (d'après Gogny and Souilem, 1995)

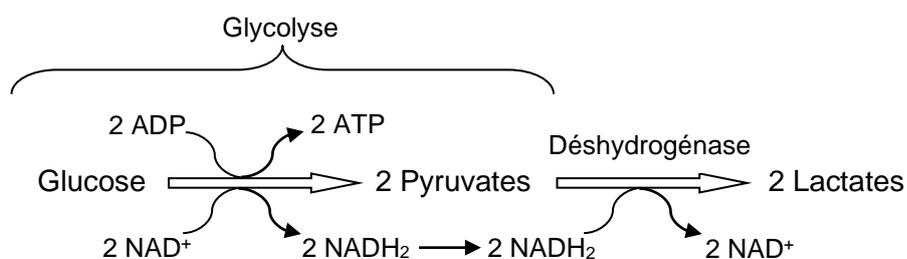


Le seul facteur limitant de cette voie est sa faible capacité à fournir de l'ATP. (Gogny et Souilem, 1995)

b. Voie anaérobie lactique

L'anaérobiose lactique valorise le glucose circulant et le glycogène musculaire au cours d'un processus glycolytique anaérobie représenté sur la figure 16. Cette voie conduit à la libération d'acide lactique qui s'accumule dans le muscle puis rejoint la circulation sanguine.

Figure 16 : Processus de la fermentation lactique (d'après Peycru, 2010)



L'accumulation d'acide lactique a de nombreux effets indésirables comme l'inhibition de la lipolyse, de la glycogénolyse et de la glycolyse. Il peut induire également des crampes, une rhabdomyolyse, une myoglobinurie, des œdèmes musculaires osmotiques et une fatigue musculaire. (Gogny et Souilem, 1995; Sahlin, 1983)

En théorie, le facteur limitant de cette voie est la quantité de glycogène stocké, mais en pratique les effets indésirables de l'acide lactique surviennent avant son épuisement. L'entraînement peut augmenter la puissance de cette voie par amélioration de l'activité enzymatique. Il induit aussi une meilleure tolérance musculaire à l'acide lactique. (Gogny et Souilem, 1995)

c. Voie aérobie

La voie aérobie correspond à l'oxydation de l'acétyl-CoA par le cycle de Krebs, ce qui aboutit à la formation de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau. Le CO_2 est facilement éliminé par les voies respiratoires. L'aérobiose a pour substrats d'oxydation les lipides, par le biais des acides gras, mais également le glucose et les acides aminés circulants. Les métabolismes oxydatifs du glucose et des acides gras sont étroitement liés, mais constituent bien deux voies métaboliques distinctes. (Gogny et Souilem, 1995)

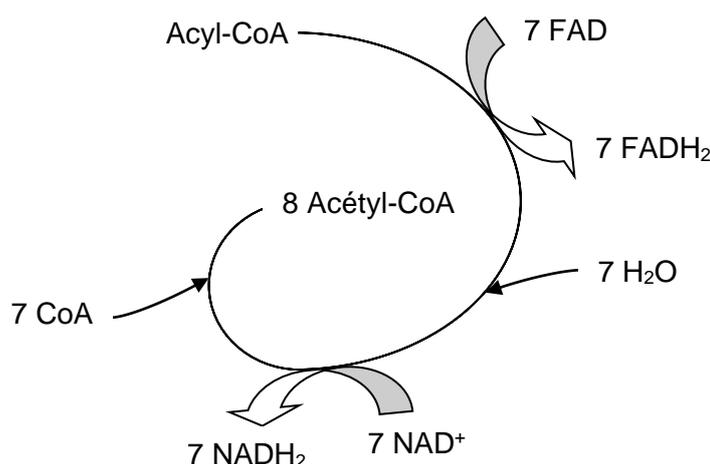
L'intensité maximale permise par cette voie dépend du débit maximal d'oxygène que peut recevoir le muscle (VO_2max). La VO_2max dépend des capacités cardio-vasculaires et respiratoires de l'athlète (débit cardiaque, ventilation, échanges alvéolaires), des facteurs tissulaires locaux (circulation musculaire, intensité de la voie aérobie), et des substrats oxydables disponibles. (Cléro et Grandjean, 2011; Gogny et Souilem, 1995; Grandjean *et al.*, 1991b)

- *Oxydation des lipides*

Les acides gras oxydés dans la cellule musculaire ont pour origine les acides gras libres plasmatiques (AGLP), des acides gras à longues chaînes transportés dans le sang avec l'albumine. Ces AGLP proviennent de la dégradation des triglycérides par une lipase qui les transforme en glycérol et en acides gras dans la circulation sanguine. (Crépeaux, 2017)

Les AGLP pénètrent la cellule par diffusion, donc leur entrée est favorisée lorsque la concentration plasmatique augmente. (Grandjean *et al.*, 1991b) Dans le cytosol de la cellule musculaire, les acides gras sont transformés en acyl-CoA par la thiokinase. Chaque molécule d'acyl-CoA se fixe à une molécule de carnitine, ce qui permet son transport au travers de la membrane mitochondriale. Une fois dans la matrice mitochondriale, l'acyl-CoA se détache de la carnitine, et il entre dans le cycle de la bêta-oxydation pour former huit molécules d'acétyl-CoA comme le montre la figure 17. L'acétyl-CoA ainsi formé peut entrer dans le cycle de Krebs.

Figure 17 : Processus de la bêta-oxydation, ou hélice de Lynen (d'après Peycru, 2010)



En parallèle, des AGLP peuvent être prélevés par le foie et transformés en corps cétoniques (acétoacétate et bêta-hydroxybutyrate) puis relargués dans la circulation sanguine. Ces derniers peuvent servir de source d'énergie pour les cellules qui ont la capacité de les convertir en

acétyl-CoA qui est ensuite oxydé. Ce mécanisme est notamment retrouvé dans les cellules du myocarde. (Crépeaux, 2017; Grandjean *et al.*, 1991b)

- *Oxydation du glucose*

Le glucose est transporté dans le sang puis pénètre la cellule musculaire afin d'être oxydé au niveau de la mitochondrie. L'intensité de son oxydation dépend de sa capacité à entrer dans la cellule musculaire, en fonction de la glycémie et ses hormones régulatrices (insuline, glucagon, cortisol et hormone de croissance). (Grandjean *et al.*, 1991b) A son entrée dans la cellule, le glucose est rapidement converti en glucose-6-phosphate afin de conserver une faible concentration cellulaire de glucose, ce qui permet de maintenir un gradient de concentration en faveur d'une entrée de glucose dans la cellule. (Crépeaux, 2017)

Le mécanisme de l'oxydation du glucose débute, à l'instar de la voie anaérobie lactique, par la glycolyse, c'est-à-dire par la formation de deux molécules de pyruvate et deux molécules d'ATP à partir d'une molécule de glucose (voir figure 16). En situation aérobie, le pyruvate peut entrer dans la mitochondrie, et il y est transformé en acétyl-CoA. L'acétyl-CoA ainsi formé peut entrer dans le cycle de Krebs (voir figure 18).

La glycogénolyse permet la mobilisation des réserves de glycogène, qui est un polymère de glucose. Dans le foie, les stocks de glycogène sont dégradés en glucose qui est relargué dans la circulation sanguine. Dans les muscles, les stocks sont dégradés en pyruvate, qui peut être directement utilisé dans la voie oxydative, ou relargué dans la circulation sanguine puis capté par le foie afin d'être transformé en glucose. (Crépeaux, 2017)

Le glycérol, formé lors de la dégradation des triglycérides en acides gras, est un alcool qui peut être transformé en pyruvate car il peut entrer dans le mécanisme de la glycolyse comme le montre la figure 18. (Peycru, 2010) Il peut aussi être capté par le foie afin d'être métabolisé en glucose. (Crépeaux, 2017)

Enfin, l'acide lactique est également un substrat important de la néoglucogénèse car il est toujours disponible dans le plasma. (Weber *et al.*, 1996b)

- *Catabolisme protéique*

Les protéines intracellulaires sont dégradées par des protéases puis des peptidases afin de former des acides aminés.

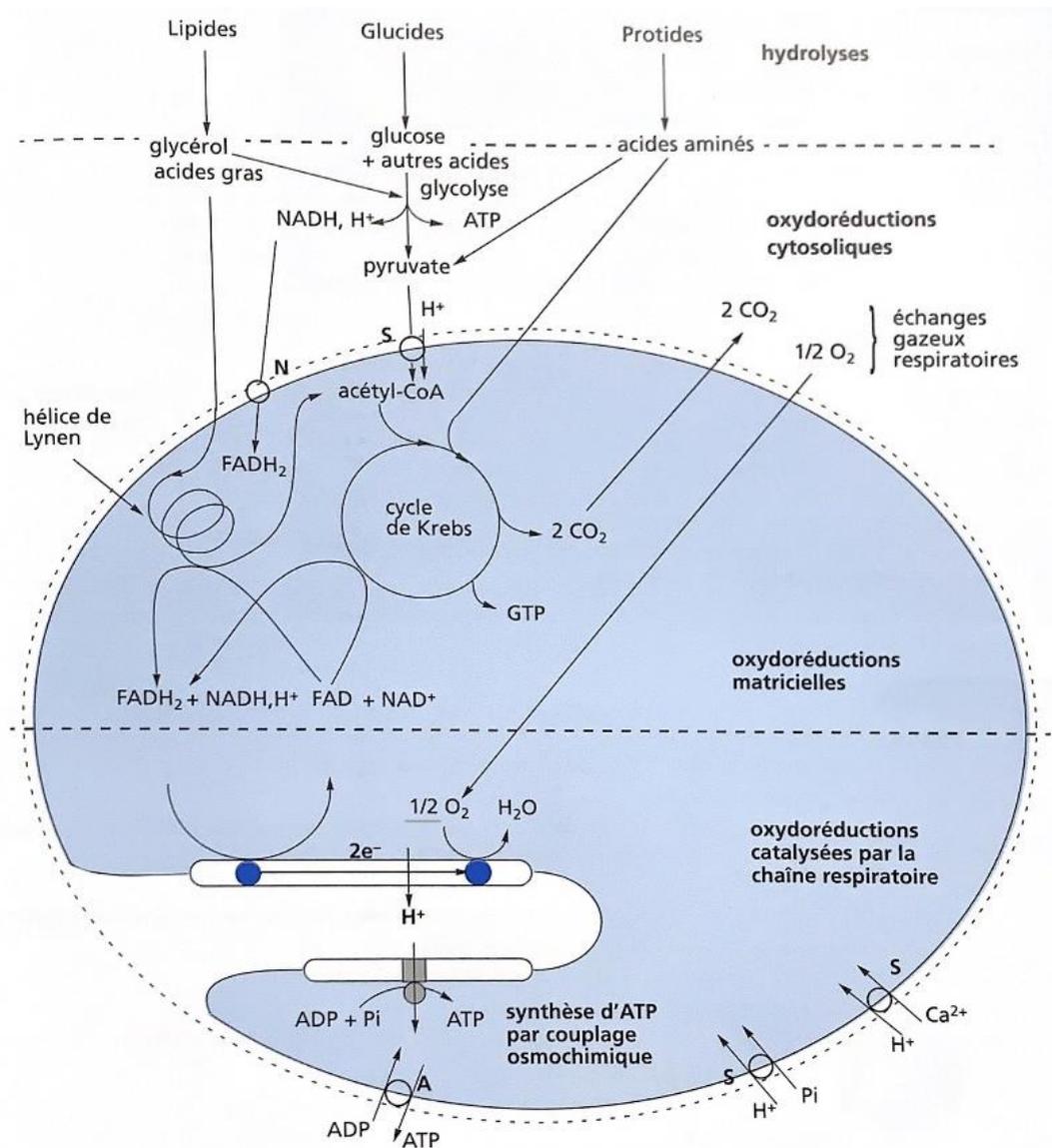
Les acides aminés ramifiés (leucine, isoleucine et valine) permettent de former l'alanine et la glutamine qui sont relargués dans le sang puis captés par le foie afin de produire du glucose. Le glucose ainsi formé est relargué dans le sang et alors disponible pour son oxydation intramusculaire. (Grandjean *et al.*, 1991b; Wagenmakers, 1998)

Certains acides aminés, et notamment les acides aminés à trois carbones (alanine, sérine, cystéine) peuvent donner du pyruvate. En particulier, l'alanine est directement à l'origine de pyruvate par une transamination. Enfin, d'autres acides aminés peuvent être convertis en acétyl-CoA (la leucine et l'isoleucine) ou rejoindre directement le cycle de Krebs (le glutamate). (Peycru, 2010; Wagenmakers, 1998)

Cependant cette voie doit être limitée car l'utilisation des acides aminés pour le métabolisme aérobie se fait au détriment de la synthèse protéique.

Ainsi, l'acétyl-CoA est le carrefour métabolique du catabolisme des lipides, des glucides et des protéides. Comme le montre la figure 18, il est oxydé dans le cycle de Krebs et permet de fournir des coenzymes réduits FADH_2 , qui sont ensuite oxydés au niveau de la chaîne respiratoire pour synthétiser des molécules d'ATP.

Figure 18 : Schéma bilan du métabolisme oxydatif, non équilibré (Peycru, 2010)

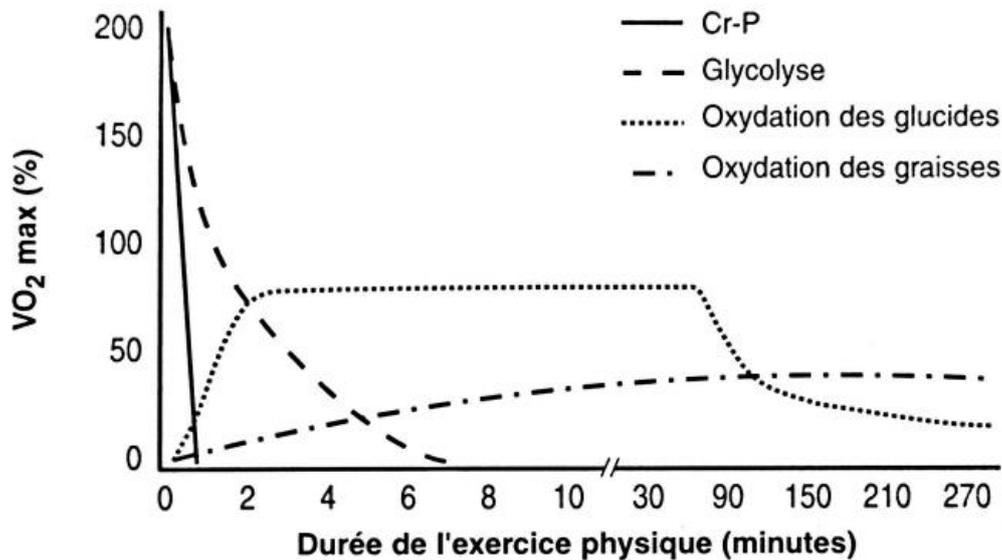


d. Implication des différentes voies en fonction du type d'effort

Les différentes voies métaboliques se succèdent dans le temps en fonction de la durée et l'intensité de l'effort comme le montre la figure 19. Ces observations sont à mettre en relation avec la notion de puissance permise par chaque source de carburant énergétique utilisé par les différentes voies métaboliques.

Figure 19 : Chronologie des voies métaboliques selon l'intensité de l'effort (Toll et Reynolds, 2000)

Cr-P : Créatine-Phosphate



La voie de la créatine-phosphate est le métabolisme prédominant lors d'efforts explosifs et d'intensité supramaximale, c'est-à-dire au-delà de l'intensité maximale permise par la voie aérobie. On retrouve cette voie lors d'efforts ne dépassant pas quelques secondes (saut, départ de course). (Gogny et Souilem, 1995) La voie des phosphagènes est la voie qui peut générer la plus grande puissance d'énergie, permettant à un chien de traîneau très bien entraîné d'atteindre des vitesses maximales aux environs de 45 km/h, voire 50-55 km/h pendant quelques secondes. (Grandjean *et al.*, 1991b)

L'anaérobiose lactique est prépondérante lors d'efforts brefs et d'intensité supramaximale. Elle est maximale après trois à dix secondes et demeure prédominante durant une trentaine de secondes. (Cléro et Grandjean, 2011; Grandjean *et al.*, 1991b) La voie anaérobie lactique génère une puissance deux à trois fois plus faible que les phosphagènes. (Grandjean *et al.*, 1991b)

Enfin, la voie aérobie, ou oxydative, est la principale utilisée dès lors que l'effort est long (supérieur à quelques minutes) et d'intensité moyenne, ou sub-maximale (50 à 70 % de la consommation maximale d'oxygène). Elle a une capacité théorique infinie : en pratique, un effort de faible intensité peut être maintenu pendant plusieurs heures. (Gogny et Souilem, 1995) On distingue l'oxydation des lipides et celle des glucides :

- L'oxydation du glucose génère une puissance deux fois moins élevée que la glycolyse anaérobie. Comme les réserves totales de glucose de l'organisme sont relativement faibles, la métabolisation aérobie du glucose ne permet pas de soutenir un exercice physique sur une très longue période. (Toll et Reynolds, 2000)
- L'oxydation des acides gras génère deux fois moins de puissance que l'oxydation du glucose. Comme le montre le tableau 3, c'est la voie qui génère la puissance la plus faible mais elle permet aux chiens entraînés en endurance de courir sur des courses de longue distance pendant plusieurs heures, plusieurs jours de suite. (Grandjean *et al.*, 1991b)

Tableau 3 : Puissance maximale permise par les différentes voies métaboliques dans un muscle humain (Hochachka, 1991)

Processus	Puissance métabolique (μ moles d'ATP/g de muscle/minute)
Métabolisme aérobie	
Oxydation des acides gras	20,4
Oxydation du glycogène	30
Métabolisme anaérobie	
Glycolyse du glycogène	60
Hydrolyse de la créatine-phosphate	96-360

Dans la pratique, les trois voies métaboliques se superposent dans le temps. Lors d'un effort d'endurance impliquant le métabolisme aérobie, la voie anaérobie (lactique et/ou alactique) peut être à nouveau sollicitée si l'intensité de l'effort dépasse la puissance maximale aérobie, par exemple lors de pointes de vitesse. (Gogny et Souilem, 1995) Aussi, quel que soit le type d'effort, le métabolisme aérobie participe de manière importante au renouvellement du stock d'ATP, même pour le lévrier de course. (Cléro et Grandjean, 2011)

Cependant, la proportion de chaque voie dépend de l'intensité de l'effort. Lors d'une course de longue distance, les chiens de traîneau courent à un trot rapide, entre 60 et 80 % de leur VO_2 max, avec un métabolisme totalement aérobie, alors qu'en course de vitesse (sept à vingt kilomètres) ou en pulka, l'anaérobiose lactique couvre 10 à 15 % de la dépense énergétique. (Grandjean *et al.*, 1991b) Cela doit être pris en compte pour adapter le plan de rationnement. (Gogny et Souilem, 1995)

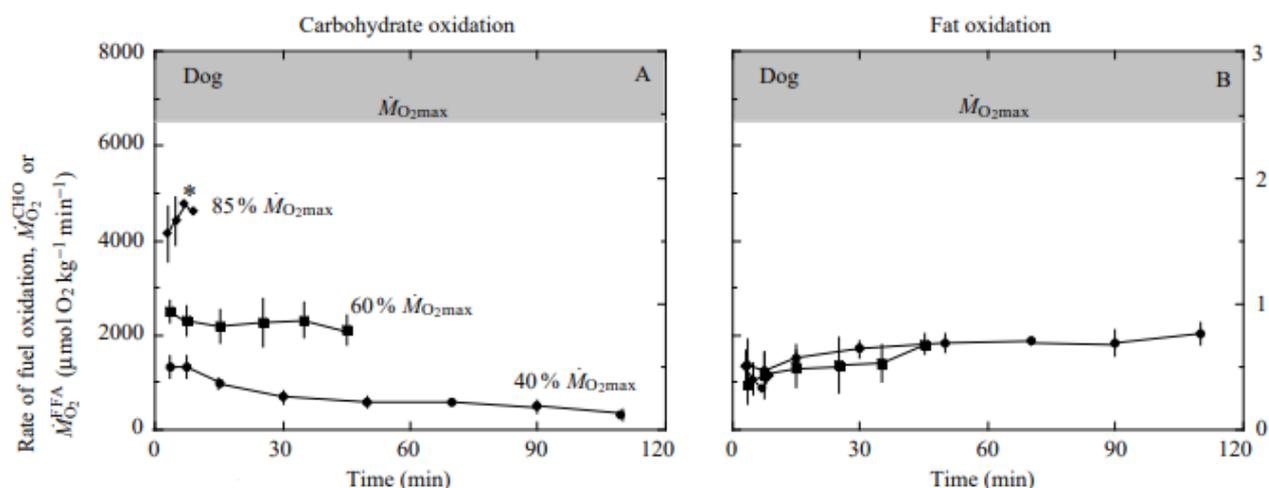
e. Substrats préférentiels de la voie aérobie en fonction de l'intensité de l'effort

Des recherches récentes se sont penchées sur l'utilisation des différents substrats par la voie aérobie en fonction de la durée et l'intensité de l'exercice chez le chien, notamment sur les différences entre les glucides et les lipides. En effet, la contribution du catabolisme protéique au métabolisme énergétique total est négligeable lors d'un effort. Il constitue en moyenne 5 à 10 % de l'apport énergétique oxydatif musculaire en fonction de l'intensité de l'effort. (Grandjean *et al.*, 1991b; Roberts *et al.*, 1996)

- ***Comparaison entre les glucides et les lipides***

Dans une étude (Roberts *et al.*, 1996), des chiens ont été exposés à différents types d'efforts : 2 h de course à 40 % de la VO_2 max, 1 h à 60 % de la VO_2 max et 16 min à 85 % de la VO_2 max.

Figure 20 : Taux d'oxydation des glucides (A) et des lipides (B) en fonction de la durée de l'exercice, à différentes intensités (Roberts *et al.*, 1996)



D'après la figure 20, il a été montré que le taux d'oxydation des lipides augmente dès le début de l'effort, et atteint un plateau au bout de 5-10 min lors de l'exercice à 85 % de la $\dot{V}O_{2max}$, et au bout de 20-30 min à 40 % et 60 % de la $\dot{V}O_{2max}$. Le taux maximal d'oxydation des lipides est atteint à une intensité d'exercice de 40 % de la $\dot{V}O_{2max}$. L'oxydation des glucides est plus élevée en début d'exercice puis diminue pour atteindre un plateau dans les mêmes délais que l'oxydation des lipides. L'oxydation des glucides atteint son taux maximal à 85 % de la $\dot{V}O_{2max}$.

Tableau 4 : Consommation d'oxygène, et taux d'oxydation des lipides et des glucides chez le chien à différents intensités d'exercice (Roberts *et al.*, 1996)

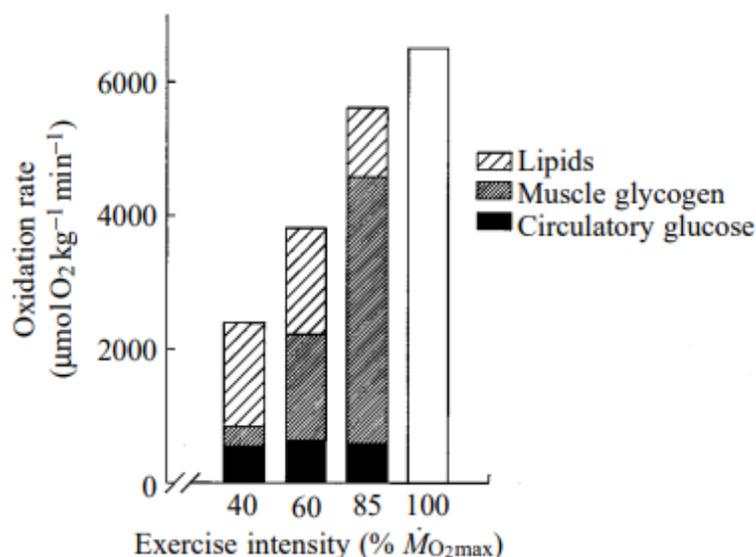
Intensité de l'exercice (% $\dot{V}O_{2max}$)	Taux de consommation d'oxygène ($\mu\text{mol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)	Taux d'oxydation des lipides ($\mu\text{mol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)	Taux d'oxydation des glucides ($\mu\text{mol O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$)
40 %	2389 ± 85	1847 ± 144	541 ± 72
60 %	3759 ± 233	1518 ± 392	2239 ± 382
85 %	5580 ± 312	1231 ± 338	4348 ± 556

Comme le montre le tableau 4, la valeur absolue de l'énergie fournie par les lipides varie peu en fonction de l'intensité de l'effort, mais sa proportion relative diminue. L'oxydation des lipides est prédominante à une intensité de 40 % de la $\dot{V}O_{2max}$, elle fournit à cette intensité 77 % de l'énergie. A de plus hautes intensités, les glucides fournissent toute l'énergie supplémentaire et la proportion relative de la contribution des lipides diminue. A un exercice à 85 % de la $\dot{V}O_{2max}$, l'oxydation des lipides représente seulement 22 % de l'énergie utilisée tandis que l'oxydation des glucides est maximale.

Ainsi, le taux d'oxydation des lipides est maximal lors d'exercice à faible intensité, alors que le taux d'oxydation des glucides est maximal lorsque l'exercice se rapproche de la limite aérobie de l'animal. (Roberts *et al.*, 1996; Weber, 2010)

- Origine des glucides oxydés

Figure 21 : Taux d'oxydation du glucose circulant, du glycogène musculaire et des lipides chez le chien en fonction de l'intensité de l'effort (Weber *et al.*, 1996b)

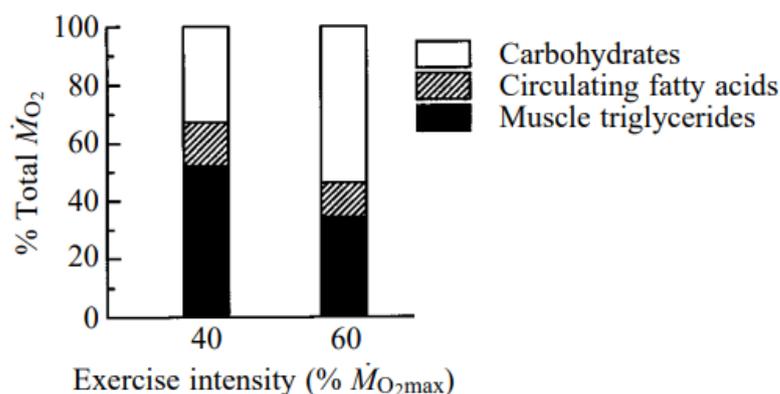


Le glucose oxydé dans la mitochondrie des cellules musculaires provient des réserves glycogéniques intramusculaires ou du glucose circulant. Le glucose circulant provient essentiellement de la dégradation du glycogène hépatique, mais également de la néoglucogénèse (à partir d'acide lactique, de glycérol, et d'acides aminés). Comme le montre la figure 21, la contribution du glucose circulant à la voie oxydative représente moins de 25 % de l'énergie utilisée lors d'exercice à faible intensité, et sa proportion diminue quand l'intensité augmente. En effet, lorsque l'intensité de l'effort augmente, l'apport d'énergie par le glycogène musculaire augmente, mais pas celui du glucose circulant. Ainsi, le glycogène musculaire représente la source principale de substrat lorsque les taux d'oxydation sont maximaux, il fournit alors 60-70 % de l'énergie totale. (Weber *et al.*, 1996b; Weber, 2010)

Cela est permis par une grande capacité de stockage de glycogène intramusculaire et une vitesse d'extraction faible. Le chien possède un stock de glycogène d'environ 72 mmol glucose.kg⁻¹ et extrait le glucose à un taux de 1,8 mmol glucose.min⁻¹.kg⁻¹, ce qui lui permettrait en théorie de soutenir un effort à une intensité de 85 % $\dot{V}O_{2max}$ pendant 40 min ou un effort à une intensité de 60 % $\dot{V}O_{2max}$ pendant 90 min. A une intensité de 40 % $\dot{V}O_{2max}$, le chien utilise très peu son glycogène musculaire, et se fournit essentiellement en glucose circulant ce qui lui permet de courir plusieurs heures sans épuiser ses réserves en glycogène. (Vock *et al.*, 1996)

- *Origine des lipides oxydés*

Figure 22 : Contribution de l'oxydation triglycérides intramusculaires, des acides gras circulants et des glucides totaux chez le chien en fonction de l'intensité de l'effort (Weber et al., 1996a)



Les acides gras oxydés dans la mitochondrie des cellules musculaires proviennent des réserves de triglycérides intramusculaires ou des acides gras circulants. Les acides gras circulants dans le compartiment sanguin proviennent des réserves lipidiques hépatiques, du tissu adipeux ou des intestins après la digestion. Comme décrit précédemment, l'importance relative de l'oxydation des lipides totaux diminue quand l'intensité de l'exercice augmente. De plus, comme le montre la figure 22, les acides gras circulants comptent pour une portion plus faible que les triglycérides intramusculaires. Ils apportent environ 15-25 % des lipides totaux quand l'oxydation des lipides est maximale, c'est-à-dire à 40 % de la VO_{2max} . Enfin, leur part dans l'oxydation totale diminue quand l'intensité de l'effort augmente. La voie des lipides intramusculaires est donc la source la plus importante d'acides gras pour l'oxydation des lipides durant l'effort. (Weber, 2010; Weber *et al.*, 1996a)

Cela est permis par des réserves lipidiques intramusculaires adaptées pour fournir un effort long de faible intensité. Elles permettraient de maintenir une course à 40 % de la VO_{2max} pendant 3 heures. (Vock *et al.*, 1996)

Ainsi, le chien de canicross fournit un effort d'intensité modérée, avec des phases de travail d'intensité élevée. L'exercice physique peut durer de quelques minutes à une heure. A ce jour, aucune étude ne s'est intéressée précisément au métabolisme des chiens de canicross. Nous pouvons faire l'hypothèse que pour ce type d'effort, le chien utilise un métabolisme mixte anaérobie et aérobie. En comparant avec les résultats des études précédemment citées, nous pouvons donc penser que pour le chien de canicross, les glucides, notamment le glycogène musculaire, et les lipides constituent des sources importantes de carburant énergétique. Cela le différencie du chien de traîneau.

f. Influence de l'alimentation sur les voies métaboliques

On ne connaît aucun moyen d'accroître les réserves et le métabolisme des phosphagènes musculaires. En effet, leur biodisponibilité n'est pas modifiée par l'entraînement ou le régime alimentaire. (Cléro et Grandjean, 2011; Gogny et Souilem, 1995; Grandjean *et al.*, 1991b)

Il est cependant possible de nourrir et d'entraîner le chien afin de favoriser les voies oxydatives et d'influer sur l'utilisation des acides gras et du glucose.

On peut notamment influencer le stockage de glycogène musculaire et son utilisation. Cela peut être intéressant car la disponibilité des glucides est un facteur limitant des efforts prolongés. De plus, la vitesse d'utilisation du glycogène (et donc la production d'énergie) dépend de la concentration de glycogène dans le muscle. Plus le muscle est riche en glycogène, plus vite il va l'utiliser pour se fournir en énergie. (Richter et Galbo, 1986; Toll et Reynolds, 2000) Enfin, des concentrations musculaires adéquates en glycogène permettent une meilleure récupération à l'entraînement. (Bigard, 2005)

Chez l'humain et le cheval, des modifications alimentaires et de l'entraînement ont été utilisées pour augmenter la concentration en glycogène et améliorer l'endurance. La méthode d'Åstrand consiste à affaiblir les réserves en glycogène par un effort épuisant associé à un régime pauvre en glucides (≤ 10 % des calories), puis à suivre une période de repos associée à un régime très riche en glucides (80 à 90 % des calories). (Bergström *et al.*, 1967) La méthode de Sherman/Costill consiste à consommer régulièrement 60 à 70 % des calories sous forme de glucides. Chez l'homme, ces deux méthodes de charge glucidique ont permis des résultats similaires mais la première peut être à l'origine de lésions musculaires graves. (Kronfeld et Downey, 1981; Toll et Reynolds, 2000) Chez le chien, il a été montré que des chiens de traîneau nourris avec un aliment riche en glucides (65 % des calories) présentaient une augmentation des stocks de glycogène musculaire et une plus grande vitesse d'utilisation de cette dernière. (Reynolds *et al.*, 1997) En effet l'ingestion de glucides favorise l'oxydation du glucose, mais également l'anaérobiose lactique. (Grandjean *et al.*, 2002) Au contraire, quand les chiens étaient nourris avec des rations riches en lipides, le glycogène était utilisé plus lentement, ce qui est une bonne adaptation pour les efforts longs d'intensité sub-maximale. (Reynolds *et al.*, 1995; Toll et Reynolds, 2000)

Ainsi, l'oxydation du glucose est favorisée par des rations riches en glucides lents. En revanche, les rations riches en matières grasses la réduisent, ce qui permet d'économiser le glycogène. (Grandjean *et al.*, 1991b)

Une alimentation riche en graisses peut influencer positivement l'endurance. L'augmentation du taux de graisses alimentaires peut augmenter la part d'énergie fournie par l'oxydation des AGLP en augmentant leur disponibilité. (Grandjean *et al.*, 1991b; Kronfeld *et al.*, 1977; Kronfeld et Downey, 1981; Roberts *et al.*, 1996) Les chiens de travail nourris avec des aliments riches en graisses présentent des taux circulants d'acides gras libres plus élevés au repos, et répondent aux stimuli de l'effort par une libération d'AGLP plus importante que lorsqu'ils sont nourris avec des aliments riches en glucides. (Kronfeld *et al.*, 1977; Kronfeld et Downey, 1981) Chez les chiens bien entraînés, l'augmentation des graisses (25 à 65% des calories) augmente la VO_2 max, avec une augmentation de 20 à 30 % du taux maximal d'oxydation des graisses. Les apports en graisses doivent augmenter avec la durée de l'exercice physique exercé par le chien. (Toll et Reynolds, 2000)

Ainsi, les stratégies alimentaires comme la charge glucidique et l'adaptation aux graisses devront être adaptées à l'intensité et à la durée de l'effort demandé. (Grandjean *et al.*, 1991b)

C. Modifications biologiques et biochimiques engendrées par l'effort

a. Les phénomènes vasomoteurs

Les modifications cardiovasculaires pendant le travail consistent en l'augmentation du débit cardiaque et la redistribution de la masse sanguine des zones au repos vers les organes en activité. On observe un phénomène de vasodilatation au niveau des muscles qui participent à l'effort, c'est l'hyperhémie d'activité. Cela permet d'augmenter le débit sanguin afin d'apporter davantage d'oxygène et de substrat énergétique dans ces muscles qui ont un métabolisme accru. Cela permet également de drainer le CO₂ et l'acide lactique. A l'inverse, dans les muscles ne participant pas à l'effort, le débit sanguin diminue du fait d'une vasoconstriction artérielle. (Combrisson, 1991; Gogny et Souilem, 1995)

Au niveau des viscères, on observe également une redistribution du sang permise par une vasoconstriction artérielle dans les territoires sacrifiés. Une étude de Musch a montré la variation du débit sanguin dans différents organes. Dans l'intestin grêle, on observe une diminution du débit sanguin lorsque la VO₂ est élevée, tandis qu'au niveau de la langue, on observe une vasodilatation importante favorisant la dissipation de chaleur sous forme de vapeur d'eau, en plus de la polypnée thermique, qui constitue pour le chien la principale voie d'élimination de la chaleur. En revanche, il y a une diminution du débit au niveau de la peau qui peut s'expliquer par le fait que la sudation est très limitée chez le chien. (Gogny et Souilem, 1995; Musch *et al.*, 1987a)

Ainsi, les modifications vasomotrices ont deux objectifs : détourner le flux sanguin vers les muscles dont les besoins en oxygène sont augmentés, et favoriser la thermolyse.

b. La température rectale et les pertes hydriques

Le rendement de conversion de l'énergie dans le muscle est faible. Au cours d'un exercice soutenu, le chien doit donc faire face à une libération de chaleur importante. La température rectale augmente pendant l'effort, l'hyperthermie est même fréquente. Chez un lévrier de sprint, la température peut atteindre 41°C après la course, et revient à la normale en une heure environ. (Gogny et Souilem, 1995) Chez un chien de canicross, la température rectale peut augmenter de 0,1 à 3,0°C après une course, et peut atteindre des valeurs très élevées, jusqu'à 41,7°C. (Erjavec *et al.*, 2022)

Le chien lutte contre l'hyperthermie principalement par la polypnée thermique. Ce mode ventilatoire, obtenu par une augmentation de la fréquence respiratoire, permet une évaporation d'eau qui absorbe les calories. (Combrisson, 1991) Il a été montré qu'un chien de traîneau, parcourant 490 km à une température ambiante en dessous de 0°C, peut éliminer jusqu'à 700 ml d'eau par jour par la voie respiratoire. Ces pertes ne sont pas compensées par une diminution de la diurèse, qui est au contraire augmentée du fait de la surcharge ionique (Na⁺, K⁺) liée à l'importance de l'ingéré énergétique. Au total, dans les courses d'endurance, on peut observer des pertes d'eau atteignant 250 ml/kg/j chez un chien entraîné. (Gogny et Souilem, 1995; Hinchcliff *et al.*, 1993) En canicross, les chiens peuvent présenter après une course un état de déshydratation allant jusqu'à 7 %, avec en moyenne un pourcentage de déshydratation inférieur à 5 %. (Costes, 2010) Une déshydratation infraclinique est donc souvent observée après une activité sportive. Celle-ci, même faible, peut altérer les performances sportives et augmenter le risque d'hyperthermie. (Baker, 1984)

Chez les individus bien entraînés, l'élévation de la température est moins marquée et son retour à la normale est plus rapide. Ceci est lié à une amélioration du rendement énergétique, ce qui diminue les pertes calorimétriques. (Musch *et al.*, 1987b)

c. Les paramètres biochimiques et électrolytiques

La déshydratation constitue l'un des problèmes principaux chez le chien de sport car elle modifie l'équilibre ionique et acido-basique de l'organisme. Cela a pour conséquence d'augmenter les risques de blessure chez le chien. (Grandjean *et al.*, 2002)

Bien que souvent aucune modification significative de la natrémie n'est observée (Hinchcliff *et al.*, 1993), une augmentation de la natrémie peut survenir simultanément à une hyperlactatémie (Grandjean *et al.*, 1991b). Du fait de la déshydratation, l'augmentation de la natrémie peut également être associée à une hyperchlorémie même après un effort comme le canicross. (Erjavec *et al.*, 2022) Cependant, on peut parfois observer une hyponatrémie et une hyperchlorémie significatives associées, notamment lors d'efforts intermédiaires comme le field trial. (Spoo *et al.*, 2015; Steiss *et al.*, 2004)

L'effort, court ou long, peut également provoquer une chute importante de la kaliémie et des bicarbonates. L'hypokaliémie peut aussi être la conséquence de pertes digestives lors de diarrhée de stress, d'apport trop important en sodium, ou d'exercices sous trop forte chaleur. (Grandjean *et al.*, 1991b; Hinchcliff *et al.*, 1993; Spoo *et al.*, 2015; Steiss *et al.*, 2004) Les répercussions d'une hypokaliémie sont une hyperexcitabilité des cellules musculaires et cardiaques, des fuites d'enzymes intracellulaires, et des extrasystoles supraventriculaires. Ces effets conduisent à une baisse de performance considérable. (Grandjean *et al.*, 2002)

Les modifications touchant la magnésémie dépendent principalement de la durée de l'effort. Un exercice physique bref (course de lévriers) conduit à une augmentation significative de la magnésémie (10 à 20 %), tandis qu'un effort long (chasse, traîneau) s'accompagne d'une chute importante de la magnésémie. Le magnésium quitte le plasma et est capté par les cellules musculaires, les adipocytes et les hématies. Compte tenu de l'inexistence de réserves en magnésium, cette hypomagnésémie d'effort peut conduire à l'apparition de spasmes musculaires tétaniformes, notamment chez les animaux mal entraînés et ayant subi une lipolyse tissulaire importante. (Gogny et Souilem, 1995; Grandjean *et al.*, 1991b)

Concernant le calcium, un effort court est souvent la cause d'une élévation de la calcémie, tandis que chez le chien de traîneau des hypocalcémies importantes ont été observées. Cependant le calcium est régulé hormonalement ce qui lui permet d'être stable et de présenter des variations de concentration minimales. (Erjavec *et al.*, 2022; Grandjean *et al.*, 1991b)

Une perturbation électrolytique associant hypokaliémie, hypomagnésémie et hypercalcémie légères est susceptible d'amplifier les douleurs et lésions musculaires, allant jusqu'à la rhabdomyolyse. (Haralambie, 1979)

Cependant, ces modifications ne sont que temporaires. Le retour à des taux normaux s'effectue après deux heures de récupération. (Grandjean *et al.*, 1991b)

d. Le stress oxydatif cellulaire et l'inflammation induite

La mise en jeu des processus aérobies conduit au phénomène de stress oxydatif cellulaire lié à la génération de composés toxiques, appelés radicaux libres.

Des recherches récentes ont montré que ces radicaux libres étaient impliqués dans des mécanismes inflammatoires tissulaires, en particulier durant l'effort. Ce stress oxydatif peut limiter les adaptations physiologiques à l'exercice. (Ravić *et al.*, 2022)

Ces composés initient des réactions radicalaires auto-amplifiées qui, dès lors qu'elles dépassent les capacités antioxydantes de l'organisme, provoquent de nombreuses oxydations touchant en particulier les lipides insaturés des phospholipides membranaires. Ces derniers sont fragilisés et leur chaîne carbonée peut se rompre. La fluidité et la résistance membranaires diminuent entraînant des modifications des échanges transmembranaires. Les radicaux libres dénaturent également certaines protéines cellulaires, l'ADN et les différents organites. Cela conduit à une chute de l'activité enzymatique de la cellule, ce qui participerait à l'apparition de la fatigue musculaire durant l'effort. (Cléro et Grandjean, 2011; Grandjean *et al.*, 2002)

L'effort, à intensité élevée ou modérée, est générateur de radicaux libres dans le muscle. Une surcharge de l'entraînement pourrait compromettre le mécanisme de défense antioxydant au regard de la réponse induite par l'exercice. Par exemple, des périodes d'entraînement intensif avec peu de récupération induisent un état de stress oxydatif et d'inflammation chroniques. (Palazzetti *et al.*, 2003). Des entraînements répétés en endurance diminuent la concentration sérique de vitamine E tout en augmentant les marqueurs de peroxydations lipidiques. Ainsi, les mécanismes antioxydants des chiens entraînés peuvent, dans certains cas, être inadaptés pour combler les besoins liés au stress oxydant induit par l'effort. (Hinchcliff *et al.*, 2000)

Cependant, le stress oxydatif d'effort semble mieux toléré chez les individus entraînés dès lors que l'intensité reste modérée. L'entraînement en endurance augmente de 50 à 70 % les concentrations en enzymes antioxydantes dans les muscles impliqués dans l'effort comme le myocarde et les muscles striés squelettiques. Ces adaptations d'observent également chez des chiens régulièrement entraînés à un effort de canicross, chez lesquels on retrouve une activité élevée de l'enzyme super oxyde dismutase. (Erjavec *et al.*, 2022; Grandjean *et al.*, 2002)

3. La nutrition du chien de canicross

A. Les apports hydriques

a. Recommandations quantitatives

L'eau est le nutriment le plus essentiel car une carence est rapidement fatale : un chien peut mourir de déshydratation en quelques jours. L'eau est le vecteur de tous les composants du sang et des fluides corporels et c'est un élément majeur de la thermorégulation. Elle est perdue par respiration, sudation et élimination urinaire et fécale. Les pertes salivaires sont également à prendre en compte lors des moments de stress et d'excitation. La persistance du pli de peau, les muqueuses sèches, et l'enfoncement de l'œil dans son orbite en sont des signes précoces. (Blanchard et Paragon, 2020; Cléro, 2015)

Au repos, le chien doit recevoir au total 50 à 80 ml d'eau par kilo de poids corporel par jour, ceci incluant l'eau apportée par les aliments. Contrairement à une alimentation à base de croquettes, une alimentation humide ou ménagère peut être très riche en eau, ce qui réduit la prise de boisson du chien. Une alimentation très salée ou très riche en protéines engendre une

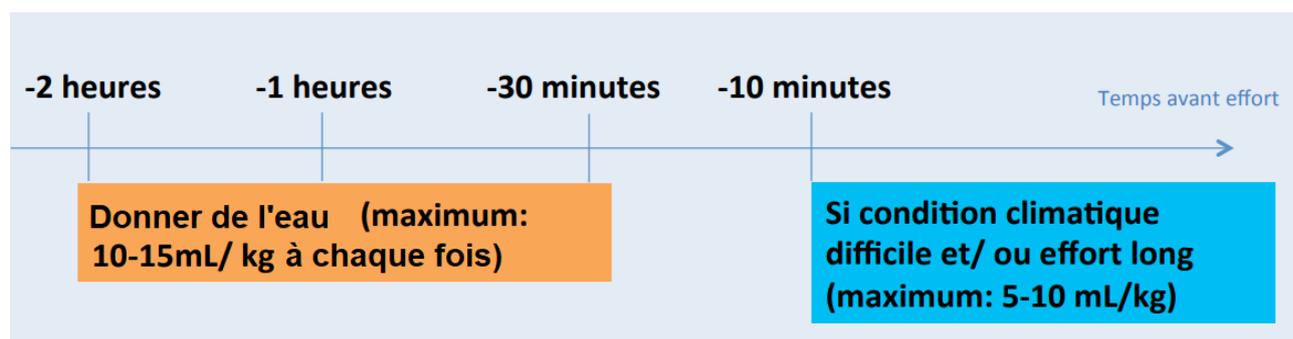
augmentation du volume urinaire, et donc de la soif par compensation. (Blanchard et Paragon, 2020)

Ce besoin augmente dans le cas du chien d'utilité et de sport. Lors d'un effort prolongé, les besoins en eau peuvent être multipliés par 5 ou 6 et atteindre 400 ml/kg/j, d'autant plus lorsque les conditions environnementales sont extrêmes (Blanchard et Paragon, 2020; Cléro, 2015; Grandjean, 2022)

b. Modalités de distribution

Un chien doit avoir un accès permanent à de l'eau propre, quelle que soit son alimentation. (Blanchard et Paragon, 2020) Cependant, avant un effort, l'eau ne doit pas être proposée ad libitum afin de prévenir les troubles comportementaux en situation de stress. (Grandjean, 2022) Dans ce cas, il est recommandé de fractionner l'apport en eau dans les heures et les minutes qui précèdent l'effort, comme le montre la figure 23. Lorsque l'activité physique dure plus de 20 minutes, il est nécessaire de continuer l'hydratation durant l'effort. Enfin, la réhydratation peut débuter dès la fin de l'effort. Il est préférable de distribuer l'eau fréquemment mais en petites quantités dans les deux heures qui suivent l'exercice. (Cabrera et Cléro, 2020; Cléro et Grandjean, 2011)

Figure 23 : Fractionnement des apports hydriques avant un effort (d'après Cabrera and Cléro, 2020)



B. L'énergie

a. L'énergie métabolisable

Les aliments apportent une quantité d'énergie totale appelée énergie brute. Cependant, une partie de cette énergie est perdue dans les fèces. L'énergie réellement disponible pour l'absorption intestinale est appelée énergie digestible. De même, une partie de cette énergie est éliminée dans les urines. Finalement, l'énergie directement utilisable par l'organisme est l'énergie métabolisable (EM). C'est avec cette notion que l'on exprime l'énergie des aliments. Il faut encore soustraire la perte de chaleur produite pendant le métabolisme pour obtenir l'énergie nette utilisable par les cellules. (Rivière, 2022)

b. L'apport énergétique idéal

L'apport énergétique idéal est celui qui couvre entièrement, mais sans excès, le besoin énergétique du chien. Les équations permettant de calculer le besoin énergétique d'un animal ne sont que des approximations théoriques. Pour augmenter la précision de la recommandation et

l'affiner, il convient de valider les estimations par des contrôles réguliers de la note d'état corporel (NEC) et du poids. L'apport énergétique idéal est celui qui permet de maintenir le poids idéal de l'animal, et une NEC idéale de 5/9. (Blanckaert, 2009; Lefebvre, 2019) La NEC est évaluée à l'aide d'une grille de notation allant de 1 (chien très maigre) à 9 (chien en obésité morbide) comme le montre la figure 24.

Figure 24 : Grille d'évaluation de la note d'état corporel chez le chien (WSAVA.org)



Il est possible d'estimer le poids idéal à partir de la NEC sur 9 avec l'équation suivante :

$$\text{Poids idéal (kg)} = \text{Poids actuel} \times 100 / (100 + (\text{NEC} - 5) \times 10)$$

C'est ce poids qui est utilisé par la suite pour les calculs car il reflète mieux la masse maigre de l'animal. (Lefebvre, 2019)

En cas de changement dans la vie de l'animal pouvant influencer sur son besoin énergétique (stérilisation, vieillissement, etc.), celui-ci doit être recalculé. (Blanckaert, 2009)

c. Calculer le besoin énergétique

L'énergie est le point de départ de la nutrition. L'objectif est d'obtenir une énergie ingérée égale au besoin énergétique, qui est la somme du métabolisme de base, des activités impliquant un travail musculaire, et de la thermogénèse. (Rivière, 2022) Ce besoin énergétique (BE) se calcule à partir du besoin énergétique d'entretien (BEE) et de facteurs individuels de variations. (Blanchard et Paragon, 2020) Le BEE et le BE s'expriment en kilocalories d'énergie métabolisable par jour (kcal EM/j).

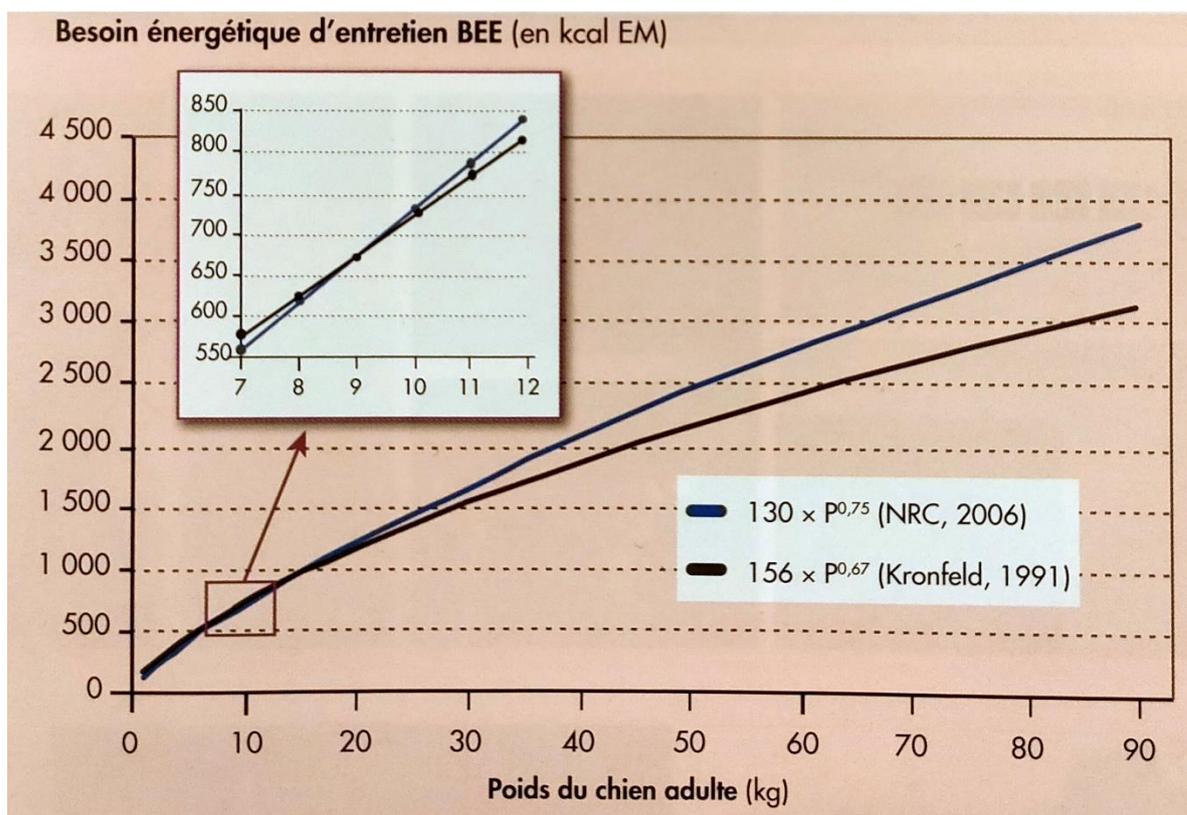
Les auteurs définissent l'animal standard, ou à l'entretien, comme un animal de race commune, non stérilisé, en bonne santé, qui évolue en milieu tempéré proche de sa neutralité thermique, et qui a une activité physique normale pour son espèce (soit 3 heures par jour pour les chiens). (Lefebvre, 2019; NRC, 2006) La définition du chien à l'entretien fixe une activité standard de 3h par jour. En effet, c'est une activité normale pour un chien dont l'environnement est suffisamment enrichi. (Lefebvre, 2019)

De nombreux auteurs ont proposé des équations différentes pour calculer le BEE en fonction du poids. Aujourd'hui les plus utilisées sont :

- Celle du National Research Council (NRC) pour des chiens de petit à moyen format : **BEE (kcal EM/j) = 130 × poids^{0,75}** (NRC, 2006)
- Celle de Kronfeld (1991) pour des chiens de moyen à grand format : **BEE (kcal EM/j) = 156 × poids^{0,67}**

Comme le montre la figure 25, les deux courbes se croisent pour un poids de 9 kg. Afin de ne pas surestimer le BEE d'un chien, il conviendra d'utiliser la première équation pour des chiens de moins de 9 kg, et la deuxième pour des chiens de plus de 9 kg. (Blanchard et Paragon, 2020)

Figure 25 : Courbe du besoin énergétique chien en fonction de son poids, selon deux équations (Blanchard et Paragon, 2020)



Le BEE est une très mauvaise estimation du besoin énergétique réel de l'animal, car il ne prend pas en compte les caractéristiques individuelles de l'animal. C'est pourquoi on le combine ensuite à plusieurs coefficients pour obtenir un BE le plus individualisé possible. Ces coefficients permettent de prendre en compte la race du chien (k1), son niveau d'activité physique (k2), son statut physiologique (k3), et une éventuelle pathologie (k4).

Ainsi, les équations pour calculer le BE d'un chien sont :

- Pour les chiens de moins de 9 kg : $BE = 130 \times \text{poids}^{0,75} \times k1 \times k2 \times k3 \times k4$
- Pour les chiens de plus de 9 kg : $BE = 156 \times \text{poids}^{0,67} \times k1 \times k2 \times k3 \times k4$

Les différentes valeurs de ces coefficients sont répertoriées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Coefficients multiplicateurs à appliquer au BEE pour obtenir le BE (Blanchard et Paragon, 2020; Lefebvre, 2019)

k1	<p>Race</p> <p>Races nordiques, Retriever, Terre-neuve = 0,8 Beagle, Cocker = 0,9 Autres, croisés = 1 Lévrier, Dogue Allemand, Dogue Argentin = 1,1 à 1,2</p>
k2	<p>Activité</p> <p>Léthargique = 0,7 Sédentaire (moins de 1h/jour) = 0,8 Calme (1-2h/jour) = 0,9 Normal (3h/jour) = 1 Actif (plus de 3h/jour) = 1,1 Hyperactif = 1,2</p>
k3	<p>Physiologique</p> <p>Adulte = 1 Stérilisé = 0,8 Agé = 0,8 à 0,9 Pré-sevrage = 3 Croissance = 1,2 à 2 (en fonction du stade de croissance) Gestation = 1,1 à 1,5 (en fonction du stade de gestation et du nombre de chiots) Lactation = 2 à 4</p>
k4	<p>Pathologique</p> <p>Obésité = 0,6 à 0,8 Cachexie = 1,1 à 2 Lymphome = 0,8 Septicémie = 1,2 à 1,5 Brûlures = 1,2 à 2</p>

Il est important de calculer le BEE et le BE, car la quantité totale d'énergie à fournir se calcule à partir du BE, mais les quantités de nutriments à apporter se calculent à partir du BEE afin de ne pas créer de carences.

d. Le coût énergétique de la course en traction

Avec l'entraînement, le besoin qui augmente le plus est celui en énergie. La plus grande partie du besoin énergétique est due à la distance parcourue et aux caractéristiques du terrain, mais assez peu à la vitesse. Un besoin énergétique supplémentaire s'ajoute en cas de traction de charge. Les besoins énergétiques quotidiens des chiens sportifs sont donc très variables et directement liés à la quantité de travail effectuée chaque jour, ce qui les rend parfois difficiles à calculer. L'objectif est donc de maintenir le poids de forme du chien en le pesant régulièrement. (Grandjean *et al.*, 2002; Lefebvre, 2019; NRC, 2006; Toll et Reynolds, 2000)

L'équation suivante permet de calculer le besoin énergétique d'une course de 1 km (BEC) en fonction du poids du chien (P_{chien}) :

$$\mathbf{BEC \text{ (kcal.km}^{-1}\text{)} = 1,77 \times (P_{\text{chien}})^{0,6} + 1,25 \times (P_{\text{chien}})^{0,75}}$$

Dans cette équation, le BEC n'est pas directement proportionnel au poids car les animaux de plus grande taille ont une plus grande efficacité de course. (Lefebvre, 2019; Toll et Reynolds, 2000)

Le coût supplémentaire du transport du poids sur 1 km est appelé besoin incrémentiel de la course (BEC_{incr}). Une autre équation permet de déterminer ce coût supplémentaire en fonction du poids du chien (P_{chien}) et de la charge à tracter (P_{charge}) :

$$\mathbf{BEC_{\text{incr}} \text{ (kcal.km}^{-1}\text{)} = BEC \times P_{\text{charge}} / P_{\text{chien}}$$

Le coût calorique d'une course avec traction de charge vaut la somme du coût de la course sans charge plus le coût supplémentaire du transport du poids. Ainsi, le besoin énergétique totale de la course avec traction (BEC_{tot}) se calcule avec l'équation suivante :

$$\mathbf{BEC_{\text{tot}} \text{ (kcal.km}^{-1}\text{)} = BEC + BEC_{\text{incr}} = BEC \times (P_{\text{chien}} + P_{\text{charge}}) / P_{\text{chien}}$$

Le besoin énergétique de l'activité s'ajoute au BEE. (Lefebvre, 2019) Afin de simplifier les calculs, il existe des coefficients estimés en fonction du type d'activité physique comme le montre le tableau 6. Etant donné que la dépense calorique est directement liée à la distance parcourue, les lévriers de courses, qui ne parcourent que quelques centaines de mètres, ont un besoin énergétique augmenté de 4 à 5 % du BEE, tandis que les chiens de traîneau de très longue distance, comme pour la course Iditarod, multiplient par huit leur besoin énergétique. (Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Tableau 6 : Adaptation du BE par rapport au BEE en fonction du type d'activité physique chez le chien (d'après Grandjean et al., 1991)

Activité	Supplément en plus du BEE (le jour de l'activité)
Course de lévrier	+ 4 à 5 % par course
Agility	+ 10 à 25 %
Field trial	+ 20 à 50 %
Troupeau	+ 50 à 100 %
Chasse	+ 25 à 200 % (selon terrain, durée, etc.)
Course (5 à 8 km/j)	+ 20 à 40 %
Course (10 à 20 km/j)	+ 70 à 80 %
Lekkarod	+ 150 à 200 %
Iditarod	+ 700 %

D'autres facteurs vont affecter le besoin énergétique lié à l'activité physique, comme les conditions climatiques. En effet, lorsque la température passe de 15 °C à 8 °C, le besoin énergétique du chien augmente de 25 %. En climat chaud, les stocks de glycogène diminuent plus rapidement lors d'un exercice du fait des mécanismes de thermorégulation. (Grandjean *et al.*, 2002) Il est important de considérer que le type de terrain et le dénivelé sont aussi à prendre en compte. Ainsi, une course sur la neige, sur du sable ou en pente augmente le besoin énergétique du déplacement. (Lefebvre, 2019; NRC, 2006; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Le besoin énergétique supplémentaire lié à l'activité ne doit être pris en compte que le jour de l'activité physique. Afin de simplifier la distribution de la ration pour un chien qui ne fournit pas un effort tous les jours, il est possible de faire une moyenne du besoin énergétique sur une semaine. (Blanchard et Paragon, 2020)

C. Les macronutriments

a. Les protéines

- *Structure et fonctions*

Les protéines sont des chaînes d'acides aminés fabriquées dans les cellules à partir de l'ADN. Il existe une vingtaine d'acides aminés différents donc le nombre de combinaisons possibles est très élevé. Un acide aminé est composé de carbone, d'hydrogène, d'azote, et parfois de soufre. Le métabolisme des protéines génère de l'ammoniaque qui est transformé en urée et éliminé dans les urines car c'est un déchet non utilisable par les cellules.

Les protéines ont un rôle (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022) :

- structurel : elles sont le principal composant de la peau, des poils, des tendons, du cartilage et des ligaments ;
- fonctionnel : certaines protéines jouent un rôle dans la contraction musculaire : l'actine et la myosine. D'autres jouent un rôle de transport comme l'hémoglobine qui transporte l'oxygène dans le sang, d'hormone comme l'insuline ou les neuromédiateurs, ou d'anticorps.

- *Qualité des protéines*

La qualité des protéines est aussi importante que la quantité apportée par la ration. Elle affecte la quantité à fournir pour satisfaire les besoins de l'animal. Il est important de retenir qu'une forte teneur en protéines n'est pas synonyme de qualité, car celle-ci dépend de leur composition en acides aminés et de leur digestibilité. (Grandjean *et al.*, 2002; Gross *et al.*, 2000)

La digestibilité des protéines est un facteur important afin que les acides aminés soient correctement assimilés suite à la digestion. Les protéines hautement digestibles ont une valeur nutritionnelle élevée donc il en faut moins pour satisfaire les besoins de l'animal. (Gross *et al.*, 2000) La digestibilité *in vivo* doit être au moins égale à 80 %. Par exemple, une viande cuite à la vapeur dans une ration ménagère a une digestibilité de plus de 90 %. (Blanchard *et al.*, 2011; Blanchard et Paragon, 2020) Le chien peut également bien digérer des protéines d'origine végétale, mais souvent ce sont les glucides associés qui sont problématiques. (Grandjean *et al.*, 1991b)

Les protéines doivent également apporter tous les acides aminés dans des quantités équilibrées et suffisantes. En effet, le besoin protéique total peut être couvert sans que les besoins en acides aminés essentiels ne le soient. Par exemple, la gélatine est une source de protéines très digestibles mais de mauvaise qualité du fait de son manque de tryptophane. Il est alors intéressant d'apporter plusieurs protéines différentes dont les compositions en acides aminés sont complémentaires. Cette méthode d'amélioration de la qualité des protéines porte le nom de complémentation protéique. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Acides aminés essentiels*

Dix acides aminés sont dits essentiels chez le chien. Ils doivent être apportés par l'alimentation tous les jours car l'organisme n'a pas la capacité de les synthétiser. La plupart des autres acides aminés sont non essentiels. Ils peuvent être synthétisés à condition que leurs acides aminés précurseurs sont apportés dans l'alimentation. Certains acides aminés sont conditionnellement essentiels. Ils ne sont normalement pas indispensables dans l'alimentation, sauf lors de certaines conditions physiologiques ou pathologiques qui diminuent leur synthèse. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022) Ces différents acides aminés sont répertoriés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Classification des acides aminés chez les carnivores domestiques (Blanchard et Paragon, 2020)

AA essentiels	AA non essentiels	AA conditionnellement essentiels
Arginine	Alanine	Acide glutamique
Histidine	Asparagine	Glutamine
Isoleucine	Acide aspartique	Glycine
Leucine	Cystéine	Proline
Lysine	Sérine	Taurine
Méthionine	Tyrosine	
Phénylalanine		
Thréonine		
Tryptophane		
Valine		

Certains acides aminés sont particulièrement importants dans l'alimentation et la santé du chien.

La taurine joue un rôle de neuromédiateur au niveau du système nerveux central et elle intervient dans la régulation de la température corporelle, le développement cérébral, l'entretien de la structure rétinienne et la fonction normale du cœur. (Gross *et al.*, 2000; Zelikovic et Chesney, 1989) La taurine est strictement essentielle chez le chat, mais chez le chien elle est un acide aminé conditionnellement essentiel. Une carence plasmatique en taurine et de faibles concentrations myocardiques en taurine ont été associées à la cardiomyopathie dilatée du Cocker américain et du Golden Retriever. (Kramer *et al.*, 1995) Les recommandations actuelles sont d'un gramme de taurine cristalline purifiée par kilo (soit 0,1 % de la matière sèche) dans les aliments secs et deux grammes de taurine cristalline purifiée par kilo (soit 0,2 % de la matière sèche) dans les aliments humides. (Gross *et al.*, 2000)

L'arginine intervient dans le cycle de l'urée, qui est la voie métabolique de détoxification des déchets métaboliques azotés comme l'ammoniaque. (Milner, 1989)Après un repas dépourvu d'arginine, le chien développe rapidement des symptômes analogues d'intoxication ammoniacale comme des tremblements, des vomissements, du ptyalisme et une hyperglycémie. Pour les chiens adultes, l'Association of American Feed Control Officials (AAFCO) recommande une teneur en arginine de 0,51 % par rapport à la matière sèche. (Gross *et al.*, 2000)

La glutamine et le glutamate sont des acides aminés de structure similaire et qui sont impliqués dans de nombreuses réactions biochimiques. Leur stockage et leur synthèse endogène peuvent être insuffisants dans certaines situations pathologiques (infection, chimiothérapie, diarrhée, etc.) c'est pourquoi ils sont classés comme acides aminés conditionnellement essentiels. La glutamine est un acide aminé sensible au chauffage et à la cuisson. Dans les aliments complets pour animaux de compagnie, le meilleur moyen de fournir de la glutamine est d'utiliser un aliment de bonne qualité et à teneur élevée en protéines. (Gross *et al.*, 2000)

- *Besoins quantitatifs en protéines*

On peut exprimer le besoin protéique en grammes de protéines par kg de poids corporel ou par un rapport protéines/énergie dans la ration. On définit ainsi le ratio protido-calorique (RPC) exprimé en grammes de protéines/Mcal EM, à la fois pour caractériser le besoin protéique de l'animal, et pour caractériser l'aliment et la ration.

Le RPC minimal dépend du format de l'animal et de son statut physiologique. Le NRC (2006) recommande un apport minimal en protéines de 20 g/Mcal EM, mais cette valeur correspond à la protéine idéale, c'est-à-dire une protéine dont le ratio d'acides aminés essentiels est idéal, et dont la digestibilité est très élevée (Baker et Czarnecki-Maulden, 1991; FEDIAF, 2019). Si l'on considère une protéine de digestibilité et de valeur biologique moyennes, chez le chien adulte à l'entretien, les apports protéiques optimums sont de 55 à 70 g/Mcal EM, soit 28 à 30 % des calories, ou encore 3 g/kg pour un chien de grand format et 5 g/kg pour un chien de petit format. (Blanchard et Paragon, 2020; Lefebvre, 2019; Rivière, 2022; Wakshlag *et al.*, 2003) L'AAFCO a établi que les aliments industriels doivent contenir au moins 18 % de protéines par rapport à la matière sèche. (Gross *et al.*, 2000) Les recommandations de RPC en fonction du gabarit du chien sont répertoriées dans le tableau 8.

Tableau 8 : RPC minimal à l'entretien en fonction du format de l'animal (Blanchard et Paragon, 2020)

Poids adulte	RPC (en g/Mcal EM)
< 10 kg	55
10-25 kg	60
> 25 kg	65

Les variations individuelles ne rentrent pas en compte pour le calcul de la quantité de protéines à apporter, il faut donc rapporter le RPC minimal à l'énergie nécessaire pour couvrir le BEE, et non le BE. (Blanchard et Paragon, 2020)

Les recommandations du NRC (2006) des différents acides aminés essentiels sont répertoriés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Recommandations en protéines et en acides aminés chez le chien à l'entretien (NRC, 2006)

Protéine	Besoin minimal		Apport optimal	
	g/kg MS*	g/Mcal EM	g/kg MS*	g/Mcal EM
Protéines brutes	80	20	100	25
Arginine	2,8	0,70	3,5	0,88
Histidine	1,5	0,37	1,9	0,48
Isoleucine	3,0	0,75	3,8	0,95
Méthionine	2,6	0,65	3,3	0,83
Méthionine + cystine	5,2	1,30	6,5	1,63
Leucine	5,4	1,35	6,8	1,70
Lysine	2,8	0,70	3,5	0,88
Phénylalanine	3,6	0,90	4,5	1,13
Phénylalanine + tyrosine	5,9	1,48	7,4	1,85
Thréonine	3,4	0,85	4,3	1,08
Tryptophane	1,1	0,28	1,4	0,35
Valine (g)	3,9	0,98	4,9	1,23

*Pour un aliment ayant une densité énergétique de 4000 kcal/kg MS

- Sources

Les protéines sont présentes dans les viandes (poulet, dinde, bœuf, agneau), les poissons, les abats (foie, poumon, rate) à hauteur de 16 à 24 g pour 100 g de produit. On en trouve également dans les produits laitiers et les œufs entre 4 et 8 g/100 g, et les lentilles (8 g/100 g de lentilles cuites).

Les céréales fournissent également des protéines, comme le riz, le maïs, le froment et l'orge. La farine de graines de soja et la farine de gluten de maïs sont des sources concentrées de protéines végétales. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000)

- *Carence et excès*

Une carence en protéines se traduit par des signes chroniques et non spécifiques : sensibilité aux infections, anorexie, anémie, infertilité, alopecie, mauvais état de la peau et des poils, fonte musculaire et défaut de croissance. En cas de carence en certains acides aminés essentiels, les signes cliniques peuvent être analogues à ceux observés lors d'une carence généralisée en protéines. Un déficit en énergie et en protéines augmente le catabolisme des protéines musculaires et des autres protéines de l'organisme (albumine et immunoglobulines) qui sont utilisées pour fournir du glucose par néoglucogénèse. Cela conduit à une atrophie musculaire et à une diminution de la concentration sanguine en protéines. Cependant l'albuminémie n'est pas un bon indicateur d'une carence protéique à court terme car cette protéine a un renouvellement relativement lent. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Harper *et al.*, 1970)

Les aliments du commerce pour chiens contiennent trois à sept fois les besoins minimaux en protéines. En effet, certains fabricants de croquettes perpétuent le mythe selon lequel les aliments à base de viande fraîche et plus riches en protéines sont plus naturels et meilleur que les aliments associant protéines animales et végétales. Il n'existe aucune justification nutritionnelle à l'apport excessif de protéines. Une fois les besoins en protéines et acides aminés comblés, les excédents protéiques sont utilisés pour la production d'énergie, or leur valeur énergétique n'est pas supérieure à celle des glucides. Ainsi, les aliments destinés aux chiens adultes à l'entretien ne devraient pas contenir plus de 30 % de protéines (par rapport à la matière sèche). (Gross *et al.*, 2000)

Dans le cadre d'une alimentation couvrant tous les besoins nutritionnels, un apport trop élevé de protéines est associé à peu de risques. Un excès de protéines alimentaires peut cependant poser problème pour les animaux atteints de certaines pathologies affectant l'élimination des déchets azotés comme une insuffisance rénale ou hépatique. Une toxicité des acides aminés peut également se manifester si un acide aminé isolé est ajouté en trop grande quantité, lors d'une supplémentation par exemple. Les acides aminés les plus couramment impliqués sont la méthionine, la lysine, l'arginine et la taurine. En particulier, l'ajout excessif de méthionine seule est associé à une acidification des urines. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Harper *et al.*, 1970)

- *Adaptation au chien de sport*

Les protéines alimentaires sont utilisées pour couvrir les besoins structurels, biochimiques, et, dans une moindre mesure, énergétiques. Le travail augmente les besoins en protéines, d'autant plus quand l'intensité et la durée de l'exercice physique dépassent le niveau actuel d'entraînement du chien. (Toll *et al.*, 2010) On rencontre cette situation en début de programme d'entraînement et lors des compétitions. (Hickson et Wolinsky, 1989; Zachin, 1990) D'une part, cette augmentation du besoin protéique est due à une augmentation de la synthèse protéique. Il y a en effet une augmentation de la synthèse de protéines structurelles (tissu musculaire, tissu conjonctif) et fonctionnelles (protéines de transport, protéines plasmatiques). En particulier, les acides aminés sont utilisés pour construire de nouveaux tissus musculaires et pour réparer les éventuelles lésions musculaires ou neuronales. D'autre part, cette augmentation du besoin protéique est due à l'accélération du catabolisme des acides aminés. Ces derniers peuvent fournir

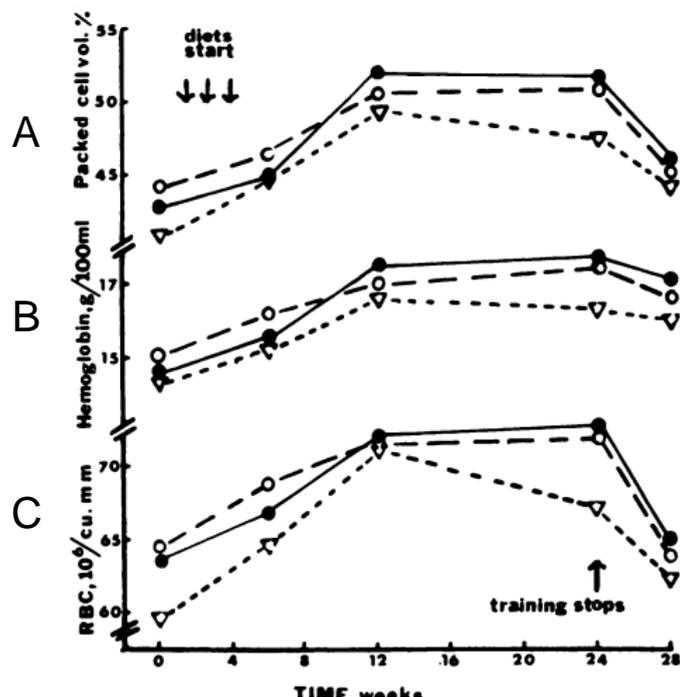
5 à 15 % de l'énergie durant un effort, selon la durée et l'intensité de celui-ci. Les acides aminés les plus utilisés pour fournir de l'énergie (la leucine, l'isoleucine et la valine) sont des acides aminés essentiels donc ils doivent être apportés en quantités suffisantes par l'alimentation. Ainsi, une alimentation optimale pour un chien de sport doit contenir des protéines de très bonne qualité pour couvrir les besoins anaboliques. (Toll *et al.*, 2010)

Cependant, l'augmentation des besoins protéiques est généralement moins importante que celle des besoins énergétiques. Des apports protéiques excessifs peuvent prédisposer l'animal à augmenter le catabolisme des acides aminés car les protéines excédentaires ne sont pas stockées sous forme de dépôts protéiques mobilisables mais sont converties en acides gras et en glucose pour être stockées sous forme de tissu adipeux et glycogène. (Hickson et Wolinsky, 1989; Toll et Reynolds, 2000) Cette augmentation du catabolisme protéique serait à l'origine de l'augmentation de l'urémie et par conséquent d'une déshydratation plus importante. (Pratt-Phillips *et al.*, 2018; Querengaesser *et al.*, 1994)

Le chien sportif est soumis à un stress d'effort organique (entraînements, compétitions) et psychologique (transport, spectateurs, bruit, etc.) qui augmente le métabolisme de la sérotonine cérébrale. (Liu *et al.*, 2017) Cette dernière est un neurotransmetteur qui admet comme précurseur un acide aminé, le tryptophane, dont le transport dépend d'autres acides aminés (valine, leucine, isoleucine, etc.). Le chien sportif doit donc avoir des apports accrus en protéines de très bonne qualité, riches en acides aminés essentiels, et plus particulièrement en tryptophane. Cependant à ce jour aucune donnée quantitative n'est disponible. (Grandjean *et al.*, 2002)

D'après de nombreuses études menées chez le chien de traîneau, le stress est également à l'origine d'anémies parfois sévères (Adkins et Kronfeld, 1982; Kronfeld *et al.*, 1977). Comme le montre la figure 26, le taux de globules rouges, d'hémoglobine, et l'hématocrite augmentent durant la période d'entraînement (douze premières semaines). Cependant, les valeurs atteintes à la douzième semaine ne se maintiennent pas durant la saison de course (semaines 12 à 24) pour les chiens nourris avec un aliment contenant 28 % de protéines par rapport à la matière sèche, contrairement aux chiens nourris avec 32 et 39 % de protéines par rapport à la matière sèche. La prévention de l'anémie d'effort passe donc par un apport protéique alimentaire minimal, sous forme de protéines de très bonne qualité. (Grandjean *et al.*, 2002)

Figure 26 : Evolution de l'hématocrite (A), du taux d'hémoglobine (B) et du taux de globules rouges (C) en fonction de l'apport en protéines dans la ration au cours d'une saison de course (Kronfeld *et al.*, 1977)



Taux de protéines par rapport à la matière sèche :
 ● 39 % ○ 32 % △ 28 %

Ainsi, pour les chiens d'endurance, il est recommandé d'apporter environ 35 % de protéines par rapport à l'EM (soit 90 g/Mcal EM), soit au moins 35 % par rapport à la matière sèche. (Grandjean *et al.*, 2002; NRC, 2006) Une étude (Reynolds *et al.*, 1999) a montré qu'un apport insuffisant de protéines engendrait des blessures significativement plus nombreuses et une diminution de la VO₂max, et donc des performances.

Concernant, les chiens de sprint, d'après une étude (Hill *et al.*, 2001b), les performances des lévriers seraient meilleures avec un apport modéré en protéines (24 % de l'EM soit 60 g/Mcal EM) plutôt qu'un apport élevé (43 % de l'EM soit 110 g/Mcal EM). Ainsi, pour les chiens de sprint ou d'activité intermédiaire ne participant pas à des exercices de très longue endurance, un apport en protéines à hauteur de 24 à 30 % de l'EM (soit 60 à 80 g/Mcal EM) serait suffisant. (Lefebvre, 2019; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Comme évoqué précédemment, la qualité et la digestibilité des protéines fournies sont importantes chez le chien, mais elles le sont d'autant plus chez le chien de sport car il est plus susceptible de présenter des troubles digestifs liés aux apports protéiques. La consommation de protides résistants aux protéases pancréatiques mais biodégradables (scléroprotéines des plumes, collagène des tendons, œufs insuffisamment cuits, etc.) peut déséquilibrer le microbiote intestinal ce qui compromet la digestibilité globale de la ration, augmente le volume fécal et favorise l'apparition de diarrhées. (Grandjean *et al.*, 1991b)

L'aliment idéal des chiens sportifs doit contenir assez de protéines de bonne qualité pour couvrir les besoins anaboliques du chien, mais également d'autres sources d'énergie afin de préserver les protéines alimentaires à des fins de synthèse. La plus grande partie des besoins

énergétiques doit donc être couverte par les glucides et les lipides pour que les acides aminés restent disponibles à la synthèse protéique. (Toll et Reynolds, 2000)

b. Les lipides

• *Structure*

Les lipides alimentaires sont des esters d'acides gras et de glycérol. Les acides gras sont des molécules hydrocarbonées reliées par des liaisons covalentes. Ils se distinguent par la longueur de leur chaîne d'atomes de carbone : acides gras à chaîne courte (deux à six atomes de carbone), à chaîne moyenne (huit à douze atomes de carbone) ou à chaîne longue (14 à 24 atomes de carbone).

Les acides gras peuvent être également classés selon le nombre de doubles liaisons dans leur chaîne :

- Les acides gras polyinsaturés possèdent plusieurs double liaisons entre deux atomes carbone. Cela leur confère une grande fluidité mais une forte sensibilité à la chaleur.
- Les acides gras monoinsaturés n'ont qu'une seule double liaison ce qui leur permet d'être fluides tout en étant plus stables et plus résistants.
- Les acides gras saturés n'ont pas de double liaison et sont solides.

Les acides gras dont la première double liaison est située au niveau du troisième carbone, du sixième carbone et du neuvième carbone forment, respectivement, la famille des oméga-3, des oméga-6 et des oméga-9. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

• *Fonctions*

Les lipides jouent plusieurs rôles :

- Ce sont les nutriments qui apportent le plus d'énergie. Ils apportent 9 kcal EM par gramme de lipides, contre 4 kcal EM par gramme de protéines ou de glucides. Cela permet d'augmenter la densité énergétique d'un aliment, et donc de diminuer le volume de la ration, pour les chiens de traîneau de longue distance par exemple, d'autant plus que les chiens digèrent très bien les lipides, avec une digestibilité allant de 80 à 95 %.
- Ils sont généralement très appétents ce qui est un point positif pour augmenter l'attrait de l'animal pour son alimentation.
- Ils permettent le transport et l'absorption des vitamines liposolubles A, D, E et K.
- Ils ont un rôle structural dans la composition des membranes de toutes les cellules.
- Ils sont les précurseurs de médiateurs des cellules ou d'hormones.

Les acides gras ont également des fonctions différentes selon leur famille. Les oméga-3 sont plutôt anti-inflammatoires tandis que les oméga-6 sont plutôt pro-inflammatoires, sauf l'acide gamma-linolénique. Cependant, les oméga-6 sont indispensables car ils sont impliqués dans la préservation de la barrière cutanée en réduisant notamment les pertes hydriques épidermiques. L'acide arachidonique est également impliqué dans la reproduction et l'agrégation plaquettaire. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; M.L. MacDonald *et al.*, 1984; M. L. MacDonald *et al.*, 1984; Rivière, 2022)

Les oméga-3 ont plutôt la capacité de diminuer l'agrégation plaquettaire et d'augmenter le temps de saignement, mais cette observation ne semble pas constituer un problème chez les animaux en bonne santé. (Goodnight, 1989; Leaf et Weber, 1988) Les oméga-3 sont également connus pour être essentiels au bon fonctionnement normal du cerveau et de la rétine, ainsi qu'à l'homéostasie physiologique. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Acides gras essentiels*

Les mammifères ne peuvent pas synthétiser les oméga-3 et les oméga-6 car ils ne possèdent pas les enzymes permettant de former une double liaison. De plus, en raison de la spécificité des systèmes enzymatiques, les acides gras insaturés ne peuvent pas être convertis d'une famille à l'autre (par exemple oméga-9 en oméga-3). C'est pourquoi les oméga-3 et 6 sont des acides gras essentiels (AGE) et ils doivent être apportés par l'alimentation. A partir des formes à 18 carbones (l'acide linoléique pour les oméga-6 et l'acide alpha-linolénique pour les oméga-3), le chien peut allonger et désaturer la chaîne carbonée afin de synthétiser les autres acides gras de la même famille.

Dans la famille des oméga-6, on retrouve l'acide linoléique (18:2 ω 6), l'acide gamma-linoléique (18:3 ω 6) et l'acide arachidonique (20:4 ω 6).

Dans la famille des oméga-3, on retrouve l'acide alpha-linolénique (18:3 ω 3), l'acide éicosapentaénoïque (20:5 ω 3) et l'acide docosahexaénoïque (22:6 ω 3). L'acide éicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA) sont des oméga-3 polyinsaturés à chaîne très longue dont l'apport a un intérêt reconnu dans certaines situations physiologiques ou pathologiques (chez le chiot en croissance par exemple). (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Recommandations*

La matière grasse en tant que telle n'est pas indispensable et tant que les besoins en acides gras essentiels sont couverts, il n'y a pas de risque de carence nutritionnelle. Ainsi, les lipides doivent être apportés à hauteur d'au moins 10 % de la matière sèche. (Blanchard et Paragon, 2020; FEDIAF, 2019)

L'acide linoléique, ou plus globalement les oméga-6, doivent représenter de 0,33 à 1,5% de la matière sèche, avec une valeur optimale de 1 % de la matière sèche (ou 2 g/Mcal EM). L'acide alpha-linolénique, ou plus globalement les oméga-3, doivent représenter de 0,02 à 0,08 % de la matière sèche.

L'équilibre entre les AGE est aussi important que leur apport individuel. Il est optimal lorsque le ratio oméga-6/oméga-3 est proche de 5 dans les situations physiologiques. Dans certains cas il peut être compris entre 2 et 5.

L'apport d'oméga-3 polyinsaturés à chaîne très longue (EPA et DHA) doit aussi être mesuré, il doit être compris entre de 0,01 à 0,05% de la matière sèche. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; NRC, 2006; Rivière, 2022)

Le tableau 10 répertorie les apports minimaux et optimaux en lipides et en acides gras.

Tableau 10 : Recommandations en lipides et en acides gras chez le chien à l'entretien (NRC, 2006)

Lipide	Besoin minimal		Apport optimal	
	g/kg MS*	g/Mcal EM	g/kg MS*	g/Mcal EM
Lipides totaux	40	10	55	13,8
Acide linoléique	9,5	2,4	11	2,8
Acide alpha-linolénique	0,36	0,09	0,44	0,11
EPA + DHA	0,44	0,11	0,44	0,11

*Pour un aliment ayant une densité énergétique de 4000 kcal/kg MS

- *Sources*

Les graisses stockées et les produits du métabolisme des lipides dépendent de la composition en acides gras de l'aliment, qui elle-même dépend des sources de lipides utilisées.

Les meilleures sources d'acides gras essentiels sont les huiles végétales. Les plus simples à utiliser en pratique sont l'huile de tournesol et de germe de blé pour apporter des oméga-6, et l'huile de lin pour apporter des oméga-3. L'huile de colza et l'huile de soja ont l'avantage de fournir à la fois des oméga-3 et des oméga-6 dans des proportions équilibrées.

La famille des oméga-3, notamment l'EPA et le DHA, sont prédominants dans les poissons et les crustacés, comme dans l'huile de foie de morue. Cependant celle-ci est à éviter car beaucoup trop riche en vitamines A et D. De plus, la teneur en acides gras des poissons est extrêmement variable selon la saison, le site de pêche, le type de poisson et leur alimentation. Afin de limiter ces variations, des capsules d'huile de poisson des mers froides ou de la poudre d'algues cultivées sont à privilégier. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Lefebvre, 2019; Rivière, 2022)

- *Carence et excès*

Un défaut d'apport en lipides est à l'origine de l'inappétence de l'aliment et d'une difficulté à couvrir le besoin énergétique. On observe également une carence secondaire en vitamines liposolubles (A, D, E, K). Une carence en acides gras essentiels se traduit par un poil terne et sec, une peau sèche et squameuse, et un ralentissement de la cicatrisation des plaies. En cas de carence prolongée, une cachexie, une alopecie et une dermatite humide peuvent se développer, ainsi que des troubles de la coagulation et de la reproduction. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000)

Une augmentation de la teneur en lipides d'un aliment augmente généralement la densité énergétique de cet aliment. Etant donné la très bonne digestibilité des lipides, cela a pour conséquence une augmentation des apports énergétiques associée à une modification de l'équilibre énergétique. Il en résulte une modification de la composition de l'organisme car l'équilibre énergétique influe sur l'adiposité. (Gross *et al.*, 2000) De plus, un apport trop important en matières grasses peut induire ou favoriser une pancréatite. (Lefebvre, 2019; Mansfield, 2012)

- *Adaptation au chien de sport*

Les graisses fournissent environ 8,5 kcal EM par gramme de matière sèche. En augmentant la teneur en graisses d'un aliment, on augmente donc significativement sa densité calorique. Dans le cas des chiens de traîneau de très longues distances dont les besoins caloriques sont extrêmes, la capacité d'ingestion de matière sèche devient un facteur limitant des performances. Il convient alors de maximiser la densité énergétique de la ration afin d'éviter que l'organisme ne puise dans ses réserves graisseuses et protéiques. L'augmentation du taux de graisses alimentaires est également bénéfique chez les chiens pratiquant une activité de type intermédiaire. En effet, la fatigue et la déshydratation peuvent réduire l'appétit. L'augmentation de la teneur en graisses de l'aliment permet donc de couvrir les besoins énergétiques et d'augmenter l'appétence de l'aliment. (Toll et Reynolds, 2000; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Le taux de matière grasse dans l'aliment influence directement la performance. En effet, une alimentation enrichie en graisses entraîne une élévation plus marquée du taux d'AGLP circulants, et limite la vitesse de déplétion des réserves en glycogène. (Kronfeld *et al.*, 1994) De plus, il est établi qu'une alimentation riche en graisses permet d'augmenter l'endurance, la VO₂max, et le taux maximal d'oxydation des graisses. Les apports en graisses doivent donc augmenter avec la durée de l'exercice effectué par le chien. (Downey *et al.*, 1980)

Les chiens peuvent tolérer des taux élevés de graisses, jusqu'à 60 % de leurs apports caloriques, à condition que celles-ci aient été introduites progressivement dans la ration, et que les apports des autres nutriments soient conservés. Une intolérance à la teneur en graisses se traduit par une stéatorrhée, une diminution de l'appétence de l'aliment et dans certains cas une anémie associée à une diminution des performances. (Toll et Reynolds, 2000; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Des apports importants en acides gras insaturés augmentent le risque de peroxydation des membranes lipidiques, cependant l'apport d'acides gras insaturés est indispensable, car tous les acides gras essentiels sont insaturés. Les chiens d'endurance consomment plus de graisses et métabolisent plus d'oxygène que les autres chiens, ils sont donc plus susceptibles de développer des lésions membranaires peroxydatives. Ce risque peut être réduit par l'utilisation d'acides gras insaturés bien stabilisés par des conservateurs ou par la complémentation en vitamine E et sélénium pour soutenir la capacité cellulaire antioxydante. Il est également recommandé d'équilibrer les acides gras saturés et insaturés dans la formulation de l'aliment. (Kronfeld, 1989; NRC, 1985; Toll *et al.*, 2010; Van Vleet, 1980).

Les chiens d'endurance sont ceux qui dépendent le plus des graisses alimentaires. Ils nécessitent une ration qui contient plus de 50% de graisses par rapport à la matière sèche, soit 60 à 70 % des calories, ou encore environ 60 g/Mcal d'EM. Les apports en graisses peuvent atteindre 85 % des calories dans le cas des chiens d'ultra-endurance.

Les besoins des athlètes de type intermédiaire varient selon le travail effectué. Durant la saison de repos ils doivent être nourris comme les chiens à l'entretien. La teneur en graisses doit augmenter avec la quantité de travail : 15 à 30% de la matière sèche (30 à 55% des calories) pour un travail plutôt intense et court, et 25 à 40% de la matière sèche (45 à 65% des calories) pour un travail physique plus long.

Enfin, la pratique du sprint ne dépend quasiment pas des lipides. Les sprinteurs doivent donc recevoir les mêmes taux que les chiens à l'entretien, soit 8 à 10% de la matière sèche ou 20 à 24% des calories. (NRC, 2006; Toll et Reynolds, 2000; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

La qualité des graisses utilisées est tout aussi importante que la quantité. En effet, certains types d'acides gras présentent un intérêt particulier chez le chien de sport.

Les AGE de la famille des oméga-3 ont des propriétés anti-inflammatoires, et ils favorisent la fluidité membranaire des érythrocytes lors de l'effort. (Giron *et al.*, 1992) L'augmentation de la déformabilité des globules rouges améliore leur passage dans les capillaires, et augmente ainsi les apports en oxygène au niveau des cellules musculaires. (Cléro et Grandjean, 2011) De plus, leurs propriétés anti-inflammatoires locales contribuent à préserver l'intégrité de la muqueuse intestinale. En effet, lorsque le bol alimentaire est trop important ou trop riche en fibres, cette dernière peut subir des micro-érosions traumatiques chez le chien de sport. (Grandjean *et al.*, 1991b) De plus, le DHA et l'EPA sont des oméga-3 particuliers qui sont reconnus pour diminuer les signes cliniques de l'arthrose en diminuant les concentrations intra-articulaires de cytokines pro-inflammatoires. Une dose de 230 à 370 mg/kg^{0,75} de poids corporel est recommandée pour les maladies articulaires dégénératives. (Wakshlag et Shmalberg, 2014) Il apparaît donc intéressant d'en ajouter à la ration des chiens de sport en prévention d'affections articulaires liées aux traumatismes répétés. Pour leur rôle dans la structure membranaire, on veillera également à un apport suffisant en acides gras de la série oméga-6 qui seront apportés à une dose de 50mg/kg. Les acides gras essentiels doivent représenter au moins 2 % de la matière sèche de la ration en veillant au respect du rapport oméga-6/oméga-3 qui doit rester proche de 5 à 6. (Grandjean *et al.*, 1991b; Toll *et al.*, 2010)

Un type particulier d'acides gras, les acides gras à chaîne courte ou moyenne (AGCM), que l'on trouve dans l'huile de coco, de coprah, ou de palme, présentent un intérêt notable chez le chien de traîneau fournissant un effort long et peu intense. Ils se définissent comme un mélange d'acide gras à trois, huit et douze carbones obtenus par hydrolyse d'huile de coco suivi d'un fractionnement des différents acides gras. Ces acides gras ont la particularité d'avoir une digestion facilitée car elle se déroule passivement. Leur faible poids moléculaire facilite l'action digestive de la lipase pancréatique, et ils ne nécessitent aucune solubilisation par les sels biliaires. Puis ils sont acheminés directement au foie par la veine porte et la veine mésentérique, sans passer par la formation de lipoprotéines. (Blanchard et Paragon, 2020) Les triglycérides à AGCM sont donc hydrolysés plus rapidement et plus complètement que ceux à chaînes longues. En cas de mixité du triglycéride, ils sont libérés préférentiellement. Au plan métabolique ils sont très faiblement incorporés aux tissus adipeux. De plus, ils ne nécessitent pas de carnitine pour franchir les membranes mitochondriales, donc l'oxydation intramusculaire devient plus rapide que pour les acides gras à chaîne longue. Ainsi, l'incorporation d'AGCM à la ration permet une économie de carnitine et améliore donc le rendement énergétique global. La ration des chiens de traîneau peut donc être enrichie en triglycérides à AGCM et ceux-ci peuvent représenter jusqu'à 25% des matières grasses apportées. (Grandjean *et al.*, 1991b) Ils peuvent également être rajoutés ponctuellement, à la dose de 0,4 g/kg de poids corporel en supplémentation une heure avant un effort, et au bout de vingt minutes en cas d'effort plus long, car il a été montré qu'ils génèrent une amélioration de la réponse de l'organisme à l'exercice avec un effet positif sur les paramètres physiologiques cardiovasculaires, l'augmentation des triglycérides circulants en début d'effort, et la moindre expression plasmatique de marqueurs pro-inflammatoires et du stress oxydatif. (Cléro, 2015)

c. Les glucides

- *Structure*

Les glucides se composent d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Il existe trois familles de glucides :

- Les monosaccharides, qui sont appelés sucres simples. On trouve par exemple le fructose, le glucose et le galactose.
- Les disaccharides, qui sont composés de deux monosaccharides. Par exemple, le lactose est composé d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose.
- Les polysaccharides, qui sont appelés glucides complexes, et qui sont composés de plusieurs monosaccharides. On retrouve l'amidon (amylose, amylopectine), le glycogène, la cellulose, etc.

Selon la capacité des enzymes de l'animal à rompre les liaisons entre deux sucres simples, les glucides sont dits digestibles ou indigestibles.

Les glucides indigestibles sont appelés fibres alimentaires. La famille des fibres est composée de la cellulose, de l'hémicellulose, de la pectine et d'autres mucilages. Ces molécules sont composées de chaînes de glucose mais les mammifères ne possèdent pas les enzymes nécessaires à leur dégradation. Elles sont donc résistantes à la digestion enzymatique dans l'intestin grêle. On classe les fibres selon leur solubilité et leur pouvoir fermentescibles :

- Les fibres insolubles ne se dissolvent pas dans l'eau. Elles augmentent fortement le volume des selles et ne sont pas fermentescibles.
- Les fibres solubles ont une forte capacité à retenir l'eau facilitant ainsi le transit des selles dans l'intestin. D'une manière générale les fibres solubles sont fermentescibles, à l'exception du psyllium.

Un glucide est digestible si l'animal possède la ou les enzymes permettant de le dégrader (par exemple l'amylase, la maltase et l'isomaltase pour l'amidon). La digestion casse les liaisons pour mettre à disposition les sucres simples qui peuvent être absorbés et passer dans le sang. L'équipement enzymatique du chien varie selon l'âge et les individus. Par exemple la lactase est plus active chez le chiot que chez l'adulte, tandis que l'amylase est plus active chez l'adulte que chez le chiot, à condition d'avoir été activée par la consommation d'amidon au moment du sevrage et si le chien continue d'en consommer régulièrement.

Plus particulièrement, l'amidon végétal est une molécule composée de chaînes de glucose non ramifiées appelées molécules d'amylose. Certaines liaisons créent des ramifications entre deux molécules d'amylose, ce qui donne l'amylopectine. La molécule équivalente à l'amidon dans le monde animal est le glycogène.

Dans l'intestin, la rapidité d'attaque des amidons par l'amylase dépend tout d'abord de la source de glucides. La digestibilité dépend aussi des traitements physico-chimiques subits par l'aliment car ces procédés augmentent la surface exposée à l'attaque amylasique. Par exemple, faire bouillir l'amidon permet d'augmenter jusqu'à cent fois l'efficacité de la digestion enzymatique. Lors de la cuisson l'amylose se lie aux molécules d'eau ce qui conduit à la gélatinisation de l'amidon et permet ainsi d'augmenter sa digestibilité. Le degré de gélatinisation, et donc de digestibilité, dépend du mode et de la température de cuisson. La fraction d'amylose non gélatinisée est appelée amidon résistant. Elle résiste alors à la digestion dans l'intestin et joue un

rôle de fibre fermentescible. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 1991b; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Fonctions*

Les glucides digestibles ne sont pas indispensables mais sont de très bonnes sources d'énergie pour le chien. Ils apportent de 3,5 à 4 kcal EM par gramme d'amidon de sucres selon la digestibilité, avec une digestibilité moyenne de 84 %. Les sucres simples, l'amidon et le glycogène sont utilisés par l'organisme comme source de glucose, notamment pour le cerveau et les globules rouges qui sont dépendant du glucose. Certains produits formés par le métabolisme du glucose peuvent être utilisés comme précurseurs d'autres nutriments comme les acides aminés non essentiels, le lactose, la vitamine C, etc. Les glucides en excès par rapport aux besoins énergétiques sont stockés sous forme de glycogène ou transformés en graisses pour être stockés dans le tissu adipeux. Le glucose peut être obtenu par néoglucogenèse à partir d'acides aminés ou de glycérol, mais un apport suffisant de glucides permet d'éviter de détourner les acides aminés de leur fonction dans la synthèse protéique.

De même, les fibres ne sont pas des nutriments indispensables mais elles diminuent la densité énergétique d'un aliment et améliorent nettement le confort digestif.

Les fibres insolubles stimulent le renouvellement de la muqueuse digestive et favorisent le transit digestif, en le ralentissant lorsqu'il est accéléré, et en l'accéléralant lorsqu'il est ralenti. La motricité intestinale étant dépendante du stress et de l'activité de l'animal, l'apport en fibres doit être adapté quantitativement.

Les fibres solubles fermentescibles sont transformées en acide gras volatiles par les bactéries du côlon afin d'apporter une source d'énergie pour les cellules épithéliales de l'intestin. Aussi, ces acides gras volatiles permettent le maintien d'une flore bactérienne intestinale saine en limitant la prolifération des bactéries pathogènes comme les clostridies. Ils permettent enfin de faciliter l'absorption du sodium, du chlore et de l'eau dans le côlon. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Recommandations*

Il n'existe pas de recommandations absolues pour l'apport de glucides chez le chien. En moyenne le taux d'incorporation maximal d'amidon se situe à 40 ou 50 % de la matière sèche. Cette teneur en glucides ne produit généralement pas d'effet nocif. Cependant, la tolérance individuelle des chiens à l'amidon est très variable, et peut notamment se manifester chez les chiens qui ont un déficit en disaccharidase, par exemple lors d'une entérite ou d'un changement brutal d'alimentation. (Roudebush *et al.*, 2000)

Dans un aliment industriel, la quantité de fibres est indiquée dans l'analyse sous la mention « cellulose brute ». Cette valeur permet de connaître la teneur en fibres insolubles de l'aliment mais ne permet d'en déduire la teneur en fibres solubles. La mention « Extractif Non Azoté » (ENA) représente les glucides assimilables (amidon, sucre) et les fibres solubles. Souvent, l'hémicellulose et la lignine, bien qu'elles soient des fibres insolubles, ne sont pas pris en compte dans la cellulose brute et se retrouvent intégrées dans l'ENA. (Fauveau, 2021; Lefebvre, 2019)

Un taux de cellulose brute de 1 à 5 % de la matière sèche est recommandé. Selon les cas elle peut être tolérée jusqu'à 15 % chez l'adulte. Les fibres solubles peuvent représenter jusqu'à 2 % de la matière sèche. Un aliment industriel pour un chien adulte à l'entretien contient

généralement 3 à 12 % de fibres alimentaires totales par rapport à la matière sèche. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Sources*

Les sources de glucides digestibles, notamment d'amidon, sont les féculents : riz, pâtes, semoule, pommes de terre, tapioca, maïs, froment, orge, avoine, etc. La viande n'est pas une bonne source de glucides.

Généralement, les aliments végétaux contiennent à la fois des fibres solubles et insolubles (haricots verts, carottes...). Les fibres insolubles sont retrouvées dans la pulpe de betterave, l'enveloppe des céréales complètes (son de blé, de riz, de maïs ou d'avoine) et dans certains légumes (haricots verts, vert des poireaux). Les fibres solubles sont retrouvées dans les fruits (pomme, banane, agrumes) ou dans les graines à mucilages (lin, chia, psyllium). Les lentilles et le topinambour sont aussi très riches en fibres solubles fermentescibles. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Carence et excès*

Un apport trop important de glucides détériore l'appétence de l'aliment et augmente fortement le volume des selles. Un excès de fibres insolubles ou d'amidon non digéré peut entraîner une colite voire une colite hémorragique, et diminuer la digestibilité de l'aliment. Des diarrhées peuvent être provoquées par un excès de fibres solubles ou d'amidon. De plus, un excès de fibres à fermentation rapide diminue l'absorption et la disponibilité de certains minéraux.

Un manque de glucides digestibles a peu d'impact chez le chien s'il reçoit assez de protéines car il peut synthétiser du glucose à partir des protéines par néoglucogenèse. Cependant, cette voie n'est pas à privilégier car, en l'absence de glucides alimentaires, les voies métaboliques des lipides et des protéines doivent fournir des précurseurs de glucose, ce qui crée un déficit en acides aminés et acides gras par rapport aux besoins de l'organisme. Enfin, une carence en fibres provoque constipation et inconfort digestif. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Adaptation au chien de sport*

Comme les glucides n'apportent que 4 kcal EM par gramme, ils ne permettent pas d'augmenter la densité énergétique d'un aliment. Cette limite est importante pour les athlètes d'endurance dont la capacité d'ingestion limite les apports caloriques. Cependant, chez les chiens sportifs dont les besoins énergétiques sont inférieurs au double du BEE, une part importante des calories peut être apportée par les glucides.

L'apport de glucides présente de nombreux avantages pour les chiens pratiquant des activités de forte intensité et de durée faible à modérée, étant donné que le métabolisme glucidique anaérobie et aérobie est alors prépondérant. De plus, comme ces chiens utilisent principalement le glucose et le glycogène comme source d'énergie pendant l'effort, un épuisement du glycogène pourrait être à l'origine de l'apparition de la fatigue chez ces athlètes. (Grandjean *et al.*, 1991b)

Chez les chiens de sprint, les aliments doivent contenir 30 à 50 % de glucides par rapport aux calories (soit 75 à 125 g/Mcal EM), avec un apport optimal de 40 % (soit 100 g/Mcal EM). De nombreuses études ont montré que les lévriers nourris avec des taux de glucides élevés avaient

de meilleurs résultats, mais qu'un taux excessif de glucides (supérieur à 50 % des calories) était délétère pour les performances. (Hill *et al.*, 2000, 2001b; Lefebvre, 2019; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Pour les sportifs de type intermédiaire, les recommandations alimentaires varient selon l'intensité et la durée de l'activité. Les chiens qui pratiquent des efforts physiques longs et d'intensité faible à modérée nécessitent des taux de graisses plus élevés et des taux de glucides relativement faibles (15 % des calories). A l'inverse les chiens qui pratiquent de courts exercices physique de fortes intensités doivent recevoir plus de glucides (jusqu'à 50 % des calories).

Les athlètes d'endurance doivent recevoir un maximum de 10 à 15 % des calories sous forme de glucides afin d'atteindre une densité énergétique assez élevée. Bien qu'il n'y ait aucun besoin strict pour les chiens d'endurance, un apport en glucides alimentaires peut tout de même leur être bénéfique. En effet, une étude (Kronfeld, 1973) sur des chiens de traîneaux a montré qu'ils étaient plus susceptibles de manifester des diarrhées de stress lorsque leur alimentation était dépourvue de glucides. Ainsi, la ration doit apporter certains glucides et fibres afin d'éviter les troubles digestifs, notamment des fibres insolubles qui régulent le transit et réduisent les signes cliniques des diarrhées. (Wakshlag et Shmalberg, 2014)

De plus, l'ajout de poudre de psyllium chez le chien de sport peut aider à résoudre les problèmes de diarrhées de stress. La fibre de psyllium est un mucilage qui a la capacité de retenir l'eau et qui agit également comme une fibre insoluble car elle fournit un substrat de fermentation pour les bactéries de la flore intestinale. Une dose de départ d'environ 4 g de poudre de psyllium par jour est recommandée, puis la dose peut être progressivement augmentée jusqu'à l'obtention de l'effet, avec une dose maximale de 16 g par jour pour un chien de 20 à 30 kg. (Leib, 2000; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

De manière générale, il est essentiel chez le chien de sport que les sources d'amidons utilisées soient hautement digestibles. En effet, la digestion glucidique peut modifier l'absorption d'autres constituants de la ration. Une faible digestibilité de l'amidon réduit l'absorption des protéines et de certains électrolytes (le sodium et le potassium). Aussi, l'ingestion de glucides faiblement digestibles modifie le turn-over hydrique intestinal en augmentant le flux hydrique iléocœcal et l'hydratation des fèces. Ainsi, la présence excessive de glucides non digérés dans le colon augmente les pertes aqueuses ainsi que la production de gaz et le volume des selles. Ces éléments augmentent le risque de défécations intempestives, de diarrhées de stress, de saignement rectaux et représente également un poids supplémentaire qui doit être porté par l'athlète. (Grandjean *et al.*, 1991b; Kronfeld, 1973; Toll et Reynolds, 2000; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

D. Les micronutriments

a. Les vitamines

Les vitamines sont définies par leurs caractéristiques structurales et physiologiques. Pour être qualifiée de vitamine, une molécule doit répondre à cinq critères :

- Il doit s'agir d'une molécule organique différente des protéines, des glucides et des lipides ;
- Elle doit faire partie du régime alimentaire ;
- Elle doit être essentielle à un fonctionnement physiologique normal ;
- Elle n'est pas synthétisée par l'organisme en quantité suffisante ;

- Son absence résulte en une carence avec des conséquences sur la santé.

On distingue les vitamines en les classant en deux groupes, selon leur solubilité dans l'eau ou dans les lipides. On parle alors de vitamines hydrosolubles (la vitamine C et celles du groupe B) ou liposoluble (les vitamines A, D, E et K). Certains composés ne sont pas essentiels chez le chien (les vitamines K, B8 et C). L'AAFCO ne les reconnaît donc pas comme vitamines pour cette espèce. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Vitamines liposolubles*

Les vitamines liposolubles forment des micelles avec les lipides et les sels biliaires, et sont ensuite absorbées passivement dans le duodénum et l'iléon, puis transportés jusqu'au foie avec des chylomicrons par le système lymphatique. Leurs métabolites sont excrétés dans les fèces. Les vitamines liposolubles sont stockées dans l'organisme avec les dépôts lipidiques. Ainsi, les carences apparaissent moins rapidement, mais elles engendrent des effets toxiques plus rapidement. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022) Les apports recommandés en vitamines liposolubles sont répertoriés dans le tableau 11.

La vitamine A joue un rôle important dans la vision, la croissance, la morphogénèse, la différenciation cellulaire, ainsi que le système immunitaire. On distingue le rétinol, vitamine A issue du règne animal, du bêta-carotène, d'origine végétale. Le chien peut synthétiser du rétinol dans l'intestin à partir du bêta-carotène, mais avec un faible rendement. On trouve le rétinol dans le foie, l'huile de foie de poisson, et le beurre, tandis qu'on trouve le bêta-carotène dans les végétaux verts ou rouges. Une carence en vitamine A provoque des troubles de la reproduction (infertilité), une croissance ralentie, des troubles squelettiques (fente palatine) et nerveux (hydrocéphalie), une mauvaise qualité du poil et de la peau, une cécité nocturne, et une faiblesse musculaire. (NRC, 1985) Les excès, bien que rares, sont à l'origine de troubles musculosquelettiques (malformation osseuse, fracture spontanée, faiblesse musculaire) et de la coagulation (augmentation des temps de coagulation, hémorragie interne), un retard de croissance ainsi que des affections hépatiques (insuffisance hépatique, stéatose hépatique). (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

La vitamine D est impliquée dans la croissance (du squelette et des dents) et la calcification osseuse, ainsi que dans la régulation de l'absorption et du métabolisme du calcium et du phosphore. Le chien est incapable de fabriquer la vitamine D sous l'effet des ultra-violets contrairement à l'homme. Il puise sa vitamine D dans son alimentation, notamment dans l'huile de foie de poisson, le foie, les poissons gras, le jaune d'œuf et le beurre. Une carence en vitamine D, souvent confondue avec une carence en calcium, provoque une ostéomalacie (chez l'animal adulte) ou un rachitisme (chez l'animal en croissance), des déformations osseuses, une hypocalcémie et une hypophosphatémie. Un surdosage entraîne une calcification des tissus mous, une déformation de la mâchoire et des dents chez les animaux en croissance, ainsi que des troubles biochimiques (hypercalcémie, hypophosphatémie, diminution des phosphatases alcalines, hypercalciurie, hyperphosphaturie). (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

La vitamine E est un antioxydant qui agit en interaction avec le sélénium. Elle joue un rôle dans la protection des membranes, l'immunité, et la reproduction. On la retrouve dans de nombreuses huiles comme l'huile de germe de blé ou de tournesol, les fruits secs, le beurre, les poissons gras, le foie et la viande. Une carence en vitamine E entraîne des atteintes cellulaires au niveau des systèmes neuromusculaire, vasculaire, reproducteur et immunitaire. On observe alors

une faiblesse musculaire, une perturbation de la spermatogenèse et des échecs de gestation. Un excès de vitamine E n'est pas réellement toxique, mais à des doses très élevées, des antagonismes avec les autres vitamines liposolubles peuvent se manifester. Les effets secondaires correspondent alors à une carence en vitamine A, D ou K, comme des perturbations de la minéralisation osseuse, une réduction du stockage hépatique de vitamine A ou des coagulopathies. En particulier, un excès de vitamine E peut provoquer une coagulopathie sévère chez des chiens présentant une carence légère en vitamine K. (Corrigan, 1979) Les besoins en vitamine E sont dépendants de la composition de la ration. Idéalement, il faut apporter 60 mg de vitamine E par gramme d'acide gras poly-insaturés (AGPI). Si l'aliment contient de hautes doses d'AGPI, la ration doit respecter une quantité minimale de 2 mg de vitamine E par gramme d'AGPI. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

La vitamine K intervient dans la coagulation sanguine, en interagissant avec les facteurs de coagulation II, VII, IX et X qui sont vitamine K dépendant. Elle est synthétisée en petite quantité par les bactéries de la flore intestinale. Elle est présente dans les légumes verts et les produits animaux. Une carence peut survenir lors de pathologies de malabsorption, d'ingestion d'anticoagulant, ou de destruction de la microflore intestinale par une antibiothérapie. On observe alors une augmentation des temps de coagulation associée à des saignements, voire une hémorragie. Aucune toxicité d'un apport excessif n'est rapportée. Comme la vitamine K synthétisée par les bactéries est facilement absorbées dans le colon chez le chien, une complémentation alimentaire est généralement inutile. D'ailleurs, l'AAFCO ne prévoit aucune recommandation en ce qui concerne la vitamine K chez le chien. Cependant, très peu d'études décrivent les effets à long terme d'une alimentation non complétement en vitamine K. Par précaution le NRC recommande d'en apporter une quantité minimale. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; NRC, 2006; Rivière, 2022).

Tableau 11 : Recommandations en vitamines liposolubles chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; FEDIAF, 2019; Lefebvre, 2019; NRC, 2006)

Vitamine	Apport optimal		Apport maximal	
	UI/kg MS*	UI/Mcal EM	UI/kg MS*	UI/Mcal EM
Vitamine A	5 000 à 20 000	1 250 à 5 000	213 333 à 400 000	53 333 à 100 000
Vitamine D	500 à 2 000	125 à 500	3 200	800
Vitamine E	50 à 200	12,5 à 50	-	-
Vitamine K	Au moins 1,64	Au moins 0,41	-	-

*Pour un aliment ayant une densité énergétique de 4000 kcal/kg MS

- *Vitamines hydrosolubles*

L'absorption des vitamines hydrosolubles suit un mécanisme de transport actif. Certaines vitamines nécessitent une pompe d'absorption dépendante du sodium, tandis que la vitamine B12 doit se lier à une protéine de transport appelée « facteur intrinsèque ». Contrairement aux vitamines liposolubles, leurs métabolites sont excrétés dans les urines. Les vitamines hydrosolubles ont un stockage très limité dans l'organisme, donc elles sont très rapidement épuisées, ce qui peut provoquer des carences aiguës. En revanche elles engendrent très peu d'effets toxiques. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

Les vitamines du groupe B (exceptée la vitamine B8) et la choline sont indispensables chez le chien. Elles sont impliquées dans le métabolisme des macronutriments (lipides, glucides, protéines). Les sources de ces vitamines, les effets d'une carence et les apports recommandés sont répertoriés dans le tableau 12. Chez les chiens en bonne santé, une importante partie des besoins en vitamine B8 est couverte par la synthèse des micro-organismes intestinaux. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter de la vitamine B8 à l'alimentation, sauf en cas d'antibiothérapie ou d'ingestion de blanc d'œuf cru. En effet, l'œuf cru contient de l'avidine, une protéine qui se lie à la biotine et la rend indisponible. La choline, bien qu'elle ne réponde pas strictement à la définition d'une vitamine, est classée comme une vitamine du groupe B. Contrairement aux autres vitamines B elle peut être synthétisée par le foie et les besoins en choline sont nettement plus importants que pour les autres vitamines du groupe. (Blanchard et Paragon, 2020; FEDIAF, 2019; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

La vitamine C, ou acide ascorbique, joue un rôle d'antioxydant, et intervient dans la synthèse du collagène et de la L-carnitine. Elle est également nécessaire à la synthèse de la carnitine. Elle se trouve dans les agrumes et les végétaux, mais est également synthétisée par le foie. Elle n'est donc pas indispensable chez le chien sain. D'ailleurs il n'existe pas de recommandations de l'AAFCO concernant la vitamine C chez le chien. En général un apport élevé en vitamine C est faiblement toxique. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

Tableau 12 : Sources, effets d'une carence et recommandations en vitamines du groupe B chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; NRC, 2006)

Vitamine	Sources	Carence	Recommandations (mg/kg MS*)
Vitamine B1 (Thiamine)	Céréales complètes, levure de bière, fruits, légumes, lait, viande, foie	Ataxie, parésie, troubles cardiaques, anorexie	1,0 à 2,3
Vitamine B2 (Riboflavine)	Levure de bière, abats rouges, viande, œuf, produits laitiers, légumes verts	Dermatites, troubles oculaires, cardiaques, neurologiques	2,2 à 6,0
Vitamine B3 (Niacine)	Levure de bière, abats, viande, produits laitiers, céréales, légumes, oléagineux	Retard de croissance, ptyalisme, nécrose de la langue, ulcérations buccales	11,0 à 17,0
Vitamine B5 (Acide pantothénique)	Levure de bière, viande, légumes, riz, poisson	Poil de mauvaise qualité, diarrhée, émaciation, immunodéficience	10 à 15
Vitamine B6 (Pyridoxine)	Viande, céréales complètes, légumes, noix	Anorexie, faiblesse, anémie, cristallurie, lésions rénales ou cutanées	1,0 à 1,5
Vitamine B8 (Biotine)	Levure de bière, maïs, oléagineux, foie de bœuf, jaune d'œuf	Poil piqué et terne, hyper kératose, diarrhée hémorragique, ptyalisme	-
Vitamine B9 (Acide folique)	Levure de bière, foie, jaune d'œuf, céréales, légumes verts	Hypoplasie médullaire, anémie, malformations fœtales, augmentation du temps de coagulation, glossite, panleucopénie	0,18 à 0,27
Vitamine B12 (Cobalamine)	Viande, abats	Anémie, acidurie	0,022 à 0,035
Choline	Graisses naturelles, lécithine, jaune d'œuf, poisson, germes de céréales, légumes, oléagineux	Stéatose hépatique, retard de croissance, dégénérescence rénale, augmentation du temps de prothrombine	1 200 à 1 700

*Pour un aliment ayant une densité énergétique de 4 000 kcal/kg MS

- *Les vitamines chez le chien de sport*

A ce jour, aucune amélioration des performances a été rapportée avec l'apport de doses élevées de vitamines. L'objectif est donc de couvrir l'augmentation des besoins liée à l'effort. Deux schémas de complémentations vitaminiques sont couramment pratiqués pour les chiens de sport : la complémentation à long terme, et la charge vitaminique dans les jours ou les heures qui précèdent une course. Si la première méthode est pertinente, en revanche un surdosage vitaminique ponctuel ne présente pas d'intérêt et n'est pas conseillé. De plus, seules les vitamines C, E et B semblent avoir un intérêt chez le chien de sport. A ce jour, aucune étude n'indique que l'exercice augmente les besoins en vitamines D et K. (Grandjean *et al.*, 2002; Toll *et al.*, 2010)

Au vu de leur grande intervention des vitamines du groupe B dans le métabolisme énergétique et protéique, il est intéressant de rehausser leurs taux dans la ration chez le chien de sport. Leur apport devra donc être doublé par rapport au chien à l'entretien. Plus particulièrement, un apport supplémentaire en vitamine B12 peut être intéressant du fait de son rôle dans la synthèse des globules rouges. En effet, une complémentation en vitamine B12 permet de lutter contre le phénomène d'anémie et de fatigue liées à l'effort. La dose recommandée est de 40 µg/kg de poids corporel. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Toll *et al.*, 2010)

Les vitamines antioxydantes sont utiles pour protéger l'organisme des effets délétères du stress oxydatif lié à l'effort, et d'autant plus pour les chiens qui consomment de grandes quantités de lipides. Il a été montré qu'une augmentation régulière en antioxydants augmente le taux d'antioxydants circulants avant et juste après un effort. (Dunlap *et al.*, 2006; Hinchcliff *et al.*, 2000) Cependant, un ajout important d'un unique antioxydant peut avoir un effet contre-productif. Par exemple, la vitamine E est oxydée en espèce radicalaire puis est normalement régénérée par la vitamine C. Mais en cas d'absence ou de faible quantité de vitamine C, l'espèce radicalaire n'est pas transformée en vitamine E et peut donc avoir une activité pro-oxydante (McAnulty *et al.*, 2005). De même, de hautes doses de vitamine C peuvent avoir un effet pro-oxydant (Atalay *et al.*, 2006), et peuvent aussi générer une acidose qui peut entraîner des symptômes d'intolérance à l'effort marqués et des pertes de performance. (Macellin-Little *et al.*, 2005) Il a également été montré que les lévriers de course étaient plus lents avec des taux très élevés de vitamines E et C (Hill *et al.*, 2001a; Marshall *et al.*, 2002; Scott *et al.*, 2001). Ainsi, des taux excessifs d'antioxydants sont inutiles voire délétères pour la performance du chien. Il est donc préférable d'apporter plusieurs types d'antioxydants à doses modérées. (Toll *et al.*, 2010; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

La vitamine E est un antioxydant très efficace. Un déficit en vitamine E provoque une diminution de la performance physique, notamment des capacités d'endurance, chez l'animal entraîné comme sédentaire (R.J. Piercy *et al.*, 2001). De plus, l'effort d'endurance engendre une chute importante du taux de vitamine E musculaire et sérique (Kronfeld *et al.*, 1989; R. J. Piercy *et al.*, 2001). Cette diminution des concentrations en vitamine E a également été observée chez des lévriers courant 500 m (Scott *et al.*, 2001). L'Unité de Médecine de l'Élevage et du Sport (UMES) recommande un apport optimal de 400 UI/kg d'aliment pour la plupart des chiens de sport. Par ailleurs, plusieurs études ont montré l'intérêt d'un apport minimal de 500 UI/kg MS afin d'obtenir un effet antioxydant maximal (Jewell *et al.*, 2000). Les aliments complets et équilibrés adaptés aux chiens actifs contiennent généralement des quantités adéquates de vitamine E et ne nécessitent pas de complémentation. En revanche, les chiens nourris avec des rations non-conventionnelles devraient être supplémentés en vitamine E à hauteur de 10 UI/kg de poids corporel en prévention d'un éventuel déficit. En cas de conditions extrêmes (très longue distance, haute altitude, etc.) ces

recommandations peuvent être doublées voire triplées. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Toll *et al.*, 2010; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Quant à la vitamine C, même si elle n'est pas indispensable chez le chien, l'effort intense génère une augmentation des besoins du fait du stress oxydatif induit et le chien est alors incapable d'en synthétiser des quantités suffisantes. Il a été montré que la concentration sérique en acide ascorbique diminuait de plus de 50 % après un effort de 190 minutes (Kronfeld *et al.*, 1989), ainsi que chez le lévrier de course (Marshall *et al.*, 2002; Scott *et al.*, 2002). Pour pallier cette diminution, l'apport optimal de vitamine C pour les chiens sportifs se situe entre 150 à 250 mg/kg MS. Les aliments complets et équilibrés adaptés aux chiens actifs contiennent généralement des quantités adéquates de vitamine C et une supplémentation n'est alors pas recommandée. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Toll *et al.*, 2010; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

b. Les minéraux

Le terme de minéraux est utilisé pour définir les éléments inorganiques de l'alimentation. Ces éléments inorganiques constituent la majeure partie des cendres qui subsistent après combustion des matières organiques. On en distingue deux catégories : les macro-minéraux, présents en grande quantité dans l'organisme, et les micro-minéraux (ou oligo-éléments) dont les quantités sont beaucoup plus faibles. On dénombre sept macro-minéraux : le calcium, le phosphore, le sodium, le magnésium, le potassium, le chlore, le soufre. Cependant, il n'existe pas de besoin alimentaire pour le soufre à condition que les besoins en acides aminés soufrés soient couverts. Ainsi l'AAFCO et le NRC ne proposent pas de recommandations en soufre chez le chien. Parmi les oligoéléments, seulement six ont été démontrés comme essentiels chez le chien : le fer, le zinc, le cuivre, le manganèse, l'iode et le sélénium. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

- *Les macro-minéraux*

Les minéraux sont catalyseurs ou cofacteurs de systèmes enzymatiques ou hormonaux. Ils sont impliqués dans de nombreuses réactions notamment dans le métabolisme lipidique, glucidique ou protéique.

Ce sont également les composants de certains tissus, comme le calcium, le phosphore et le magnésium au niveau des os et des dents. Le calcium et le phosphore sont les minéraux les plus abondants dans l'organisme. Ils représentent plus de la moitié des minéraux à eux seuls. Leur métabolisme sont liés, ils sont donc indissociables. Le ratio Ca/P, appelé rapport phospho-calcique, doit toujours être compris entre 1 et 2.

Enfin, le potassium, le sodium et le chlore sont des électrolytes. Ils sont impliqués dans l'équilibre acido-basique, la pression osmotique et les échanges membranaires, notamment pour la contraction musculaire et les influx nerveux. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

Tableau 13 : Fonctions et sources des macro-minéraux (Blanchard et Paragon, 2020; Gross et al., 2000)

Minéral	Fonctions	Sources
Calcium (Ca)	Constituant des os et des dents, coagulation, fonction musculaire, transmission de l'influx nerveux	Produits laitiers, os
Phosphore (P)	Constituant des os et des dents, composant de l'ADN, métabolisme lipidique, glucidique et protéique	Viande, céréales, jaune d'œuf
Potassium (K)	Contraction musculaire, transmission de l'influx nerveux, équilibre hydroélectrique, cofacteur enzymatique	Viande, poisson, abats, œuf
Sodium (Na) et chlore (Cl)	Contraction musculaire, équilibre hydroélectrique, transmission de l'influx nerveux, absorption des nutriments, excrétion des déchets	Sel de table, sang
Magnésium (Mg)	Cofacteur enzymatique, production de l'ATP, activité neuromusculaire, métabolisme glucidique et lipidique	Sang, viande maigre, poisson, produits laitiers, céréales

Tableau 14 : Effets d'un excès ou d'une carence et recommandations en macro-minéraux chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; NRC, 2006)

Minéral	Excès	Carence	Apport recommandé*
Calcium (Ca)	Constipation, dysorexie, néphrose, boiterie, élargissement des jonctions costo-chondrales	Déminéralisation osseuse, boiterie, fractures spontanées, rachitisme ou ostéomalacie, ralentissement de la croissance, dysorexie	0,4 à 0,8 % MS soit 1 à 2 g/Mcal
Phosphore (P)	Lésions rénales, constipation, pertes osseuses, urolithes, dysorexie, calcification des tissus mous, hyperparathyroïdie secondaire	Diminution de l'absorption des oligo-éléments, pica, ralentissement de la croissance, pelage terne, diminution de la fertilité, fractures spontanées, rachitisme ou ostéomalacie	0,3 à 0,8 % MS soit 0,75 à 2 g/Mcal
Potassium (K)	Peu toxique par voie orale. Parésie, bradycardie.	Léthargie, troubles du rythme cardiaque, anorexie, ralentissement de la croissance, troubles locomoteurs, hypokaliémie, émaciation, lésions rénales	0,4 à 1 % MS soit 1 à 2,5 g/Mcal
Sodium (Na)	Soif, prurit, constipation, convulsions	Rare. Incapacité à maintenir la balance hydrique, ralentissement de la croissance, anorexie, léthargie, alopecie	0,08 à 0,5 % MS soit 0,2 à 1,25 g/Mcal
Chlore (Cl)			0,12 % MS soit 0,3 g/Mcal
Magnésium (Mg)	Cristallurie (struvites), diarrhée, paralysie flasque	Fatigue, troubles de la contraction musculaire, hyperirritabilité, convulsions, anorexie, vomissements, déminéralisation osseuse, perte de poids	0,06 à 0,1 % MS soit 0,15 à 0,25 g/Mcal

*Pour un aliment ayant une densité énergétique de 4 000 kcal/kg MS

- *Les oligo-éléments*

Les oligo-éléments sont eux aussi des cofacteurs ou des activateurs enzymatiques, comme le zinc qui est un constituant ou un activateur de plus de 200 enzymes.

Le fer est présent dans de nombreuses enzymes et protéines impliquées dans l'activation et le transport de l'oxygène, l'hémoglobine et de la myoglobine. Il est ainsi impliqué dans de nombreuses réactions du métabolisme oxydatif.

Les oligo-éléments peuvent aussi avoir un rôle hormonal. Par exemple, le zinc interagit avec la production de plusieurs hormones (insuline, testostérone, corticostéroïdes), tandis que l'iode est un composant des hormones thyroïdiennes (la thyroxine et la triiodothyronine). Ces dernières sont impliquées dans la thermorégulation, la reproduction, la croissance, et la fonction musculaire.

Le sélénium est un composant de la glutathion peroxydase, une enzyme antioxydante qui agit en synergie avec la vitamine E pour protéger les membranes cellulaires des réactions de peroxydation. Il intervient aussi dans la régulation du métabolisme des hormones thyroïdiennes et de l'iode. (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; Rivière, 2022)

Tableau 15 : Fonctions et sources des oligo-éléments (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000)

Minéral	Fonctions	Sources
Cuivre (Cu)	Solidité des os, absorption du fer, hématopoïèse, pigmentation, respiration cellulaire et défenses antioxydantes, réponse immunitaire	Foie, céréales, légumineuses
Zinc (Zn)	Métabolisme protéique, glucidique et des acides nucléiques, peau et cicatrisation des plaies, réponse immunitaire	Huîtres, bœuf, abats, légumineuses, légumes verts
Sélénium (Se)	Antioxydant avec vitamine E, fonction immunitaire, reproduction	Abats, viande, poisson, œufs, champignons
Fer (Fe)	Activation et transport de l'oxygène, respiration cellulaire	Viande rouge, abats, boudin, légumineuses, végétaux verts
Iode (I)	Constituant des hormones thyroïdiennes	Poisson, crustacés, sel de table
Manganèse (Mn)	Métabolisme lipidique et glucidique, ostéosynthèse, reproduction	Grains entiers, graines, noix, œufs, végétaux verts

Tableau 16 : Effets d'un excès ou d'une carence et recommandations en oligo-éléments chez le chien à l'entretien (Blanchard et Paragon, 2020; Gross *et al.*, 2000; NRC, 2006)

Minéral	Excès	Carence	Apport recommandé*
Cuivre (Cu)	Léthargie, vomissements, hépatite, ictère, perte de poids	Rare. Anémie, décoloration du poil, troubles de la croissance, lésions osseuses, troubles neuromusculaires et de la reproduction	6 à 22 mg/kg MS soit 1,5 à 5,5 mg/Mcal
Zinc (Zn)	Rare. Malabsorption du calcium, anémie par carence en cuivre et en fer	Dépilations, hyperkératose, squames, croûtes, anorexie, croissance ralentie, troubles de la reproduction	60 à 120 mg/kg MS soit 15 à 30 mg/Mcal
Sélénium (Se)	Anémie, cirrhose hépatique, alopecie, boiterie, vomissements, spasmes, ataxie, ptyalisme, dysorexie	Rare. Dystrophie musculaire, intolérance à l'effort, troubles de la reproduction, dysorexie, œdème sous-cutané, minéralisations rénales	0,1 à 0,35 mg/kg MS soit 25 à 87,5 µg/Mcal
Fer (Fe)	Très rare. Interfère avec l'absorption des minéraux, anorexie, perte de poids, hémosidérose	Anémie, pelage sec, apathie, croissance ralentie, troubles immunitaires, constipation	30 à 250 mg/kg MS soit 7,5 à 62,5 mg/Mcal
Iode (I)	Goitre, hypothyroïdie	Goitre, hypothyroïdie	0,88 à 2 mg/kg de MS soit 220 à 500 µg/Mcal
Manganèse (Mn)	Rare	Troubles de la reproduction, stéatose hépatique, membres arqués, ralentissement de la croissance	4,8 à 20 mg/kg MS soit 1,2 à 5 mg/Mcal

*Pour un aliment ayant une densité énergétique de 4 000 kcal/kg MS

- *Les minéraux chez le chien de sport*

Comme développé précédemment, l'effort court ou long modifie l'équilibre hydro-électrique de l'organisme. Il est donc indispensable d'adapter l'apport en minéraux et oligo-éléments chez le chien de sport et de l'ajuster selon le type d'effort.

Etant donné que l'activité sollicite le squelette, chez le chien pratiquant un exercice court ou de durée moyenne, il faut augmenter légèrement les apports de calcium dans le but de prévenir les douleurs articulaires et les processus ostéofibrotiques. D'autre part, les chiens pratiquant des efforts longs ingèrent des aliments riches en graisses qui peuvent stimuler les pertes fécales de calcium et de magnésium. Ils doivent donc recevoir plus de calcium également. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002) Le calcium devrait être apporté à hauteur de 1,5 à 4,0 g/Mcal (soit 0,6 à 1,6 % de la matière sèche) dans les aliments pour chien adulte sportif avec des taux similaires de phosphore afin de maintenir le ratio phospho-calciqque dans l'intervalle de référence, notamment afin de garantir une intégrité de la structure des os. (NRC, 2006)

La concentration plasmatique du magnésium est modifiée durant une activité physique, et sa digestibilité est altérée par l'élévation du taux de matières grasses dans la ration. Il apparaît donc indispensable d'augmenter les apports en magnésium dans la ration, d'autant plus qu'un déficit chronique en magnésium a de nombreuses conséquences chez le chien de sport, comme une diminution de l'endurance et de la résistance, une moins bonne adaptation aux températures basses ou élevées, une perte de motivation, des modifications de l'excitabilité neuromusculaire, des crampes ou une laxité ligamentaire. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002)

Le besoin en potassium dépend des pertes induites par l'effort, mais également des stocks de potassium dans l'organisme. Il a été démontré que, chez les chiens entraînés, les concentrations musculaires de potassium étaient plus élevées que chez les chiens sans activité physique. Par conséquent, les entraînements augmentent les teneurs en potassium de l'organisme du fait de l'augmentation de la masse musculaire induite par l'effort. Ainsi, les chiens qui pratiquent une activité physique régulière pourraient recevoir des apports augmentés en potassium afin de couvrir les besoins accrus. (Grandjean *et al.*, 2002)

Cependant, les minéraux de la famille des électrolytes sont des éléments moins essentiels chez le chien que chez d'autres espèces comme l'humain ou le cheval. En effet, ne transpirant pas, les suppléments ne sont pas forcément justifiés pour les chiens nourris avec des aliments complets équilibrés. Les études ayant évalué de telles suppléments n'ont montré aucun effet bénéfique voire une augmentation de l'incidence des diarrhées post-effort. Ainsi, les seuls chiens susceptibles de bénéficier d'un supplément électrolytique, et notamment en potassium, sont les chiens présentant des épisodes prolongés de diarrhée de stress. (Mazin *et al.*, 2001; Wakshlag et Shmalberg, 2014) Concernant le chlorure de sodium, il doit être apporté avec parcimonie car les déficits de ces minéraux sont rares chez le chien. Ainsi, l'apport excessif de sel est à proscrire car il peut provoquer une polyuro-polydipsie et une déshydratation extracellulaire. (Grandjean *et al.*, 2002)

En revanche, pour prévenir et corriger les conséquences de la déshydratation, un apport de soluté électrolytique en concentration hypotonique à isotonique peut être préconisé avant et après l'effort. (Cléro et Grandjean, 2011) Etant donné que les recommandations pour les chiens, les chevaux et les humains sont différentes, les solutions électrolytiques destinées au cheval ne sont pas indiquées car elles peuvent provoquer des diarrhées. (Grandjean *et al.*, 2002)

Quant aux oligoéléments, certains auront davantage d'importance pour le chien de sport :

- Le fer, qui participe à la prévention du risque d'anémie ;
- Le cuivre, qui est également impliqué dans la prévention des anémies et favorise la solidité des os et du cartilage ;
- Le zinc, qui permet de soutenir l'augmentation du métabolisme, et qui participe à la contraction musculaire ;
- L'iode, qui participe à la prévention des myodystrophies ;
- Le sélénium, qui participe à l'action antioxydante de la vitamine E.

A ce jour, aucune étude ne rapporte de déficit en oligo-éléments chez le chien athlète nourri avec un aliment complet, ou un mélange d'aliment complet et de viande. Actuellement, on ne sait pas si une supplémentation en oligo-éléments est nécessaire. De manière générale, les apports en oligoéléments seront doublés par rapport à l'entretien, afin de compenser la diminution de leur digestibilité par le calcium. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

E. Le soutien nutritionnel ergogène de l'effort

Un soutien nutritionnel ergogène est une substance ou une molécule non médicamenteuse qui se surajoute à l'entraînement dans le but d'améliorer la performance et/ou les processus de récupération. Il est courant d'apporter de telles supplémentations ergogènes aux chiens sportifs car ces nutriments ne sont généralement pas intégrés dans les aliments. Ces substances, dont la production endogène est un facteur limitant du travail musculaire, sont utilisées pour soutenir le métabolisme énergétique, protéger les membranes cellulaires, et préserver la masse musculaire. Cependant, la frontière entre nutriment et dopant n'est pas toujours très nette. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002, 1991a) La supplémentation peut être fournie (Cléro, 2015) :

- Quotidiennement sur une période plus ou moins longue (on parle alors de complémentation) ;
- Avant un effort, en préparation spécifique de celui-ci ;
- Pendant un effort pour soutenir les métabolismes en jeu ;
- Après l'effort afin d'améliorer la récupération et prévenir la fatigue.

a. Les glucides

Chez le chien, la supplémentation en carbohydrates après l'effort est conseillée depuis les années 90. Il existe une fenêtre de 20 minutes après l'effort durant laquelle le glycogène est fortement resynthétisé dans le muscle. De plus, des études montrent que l'administration d'une petite quantité de glucides (1,5 à 2 g/kg de poids corporel sous forme de polymère de glucose comme la maltodextrine) immédiatement après l'effort augmente le taux de reconstitution du glycogène intramusculaire en 4 à 24 heures (Grandjean, 1995; Reynolds *et al.*, 1997; Wakshlag *et al.*, 2002; Wakshlag et Shmalberg, 2014). Ainsi, un aliment riche en précurseurs du glycogène distribué à ce moment précis permet de reconstituer le stock musculaire de glycogène, grâce à une réponse insulinique augmentée après l'exercice, et améliore les capacités lors de l'effort suivant. Il est par exemple possible de proposer un mélange de 1 g/kg de riz et 0,5 g/kg de miel. (Cléro et Grandjean, 2011)

Une telle supplémentation en glucides est particulièrement intéressante pour les chiens de sprint ou d'effort intermédiaire lorsque l'épreuve sportive est constituée de plusieurs séances rapprochées le même jour (à deux ou trois heures d'intervalle) et/ou plusieurs jours consécutifs. Par contre, pour des exercices encore plus rapprochés dans le temps, il n'est pas recommandé de nourrir le chien afin d'éviter d'éventuels vomissements ou régurgitations. (Hill, 1998) Dans le cas d'un événement se déroulant plusieurs jours de suite, il est conseillé d'administrer la supplémentation glucidique dans les 30 minutes suivant le dernier exercice de la journée (Reynolds *et al.*, 1997; Wakshlag *et al.*, 2002; Wakshlag et Shmalberg, 2014).

Cette méthode de charge glucidique ne doit être utilisée que lors d'une compétition pour stimuler la resynthèse glycoligénique et doit être réalisée immédiatement après l'exercice avant qu'un repas ne soit proposé afin d'optimiser l'absorption du supplément. Si ce type de supplémentation est donné quotidiennement durant l'entraînement, le chien utilisera ces glucides supplémentaires pour générer une énergie immédiate au lieu de les stocker dans le muscle. (Reynolds *et al.*, 1997; Wakshlag *et al.*, 2002; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Une étude récente (Zanghi *et al.*, 2015) a étudié l'intérêt d'une supplémentation post-effort de 1,7g/kg de carbohydrates (maltodextrines et dextrines) et 0,65g/kg de protéines (whey protein)

sur l'évolution des acides aminés ramifiés, du tryptophane, et de la thréonine, ainsi que celle de la glycémie et triglycéridémie en post-effort. Elle a montré que les chiens consommant le supplément contenant carbohydrates et protéines présentaient une meilleure disponibilité des nutriments dans le secteur plasmatique pour les recharges glycoénergiques, ainsi que pour la synthèse protéique. (Cléro, 2015)

b. Les acides aminés ramifiés ou « branched-chain amino acids » (BCAA)

Il a été montré que des concentrations plasmatiques élevées en leucine, isoleucine et valine après un effort peuvent aider les animaux à récupérer plus vite. En effet, les BCAA sont impliqués dans la synthèse protéique, l'apport d'énergie aux cellules musculaires squelettiques, et l'élimination des lactates dans le muscle durant l'exercice. (De Palo *et al.*, 2001; She *et al.*, 2010) De plus, un ratio BCAA/tryptophane augmenté serait associé à une diminution de la fatigue mentale et physique lors d'un exercice intense. (Blomstrand *et al.*, 1991; Falavigna *et al.*, 2012). Ainsi, un apport de protéines riches en BCAA à hauteur de 400 mg/kg de poids corporel est recommandé (Grandjean, 2023).

c. Les vitamines

De par leurs propriétés antioxydantes, les vitamines E et C peuvent être considérées comme des aides ergogènes chez le chien de sport étant donné que les quantités recommandées sont supérieures au besoin nutritionnel d'entretien. (Blanchard et Paragon, 2020) Les vitamines du groupe B, jouant un rôle déterminant dans le métabolisme énergétique et protéique, et notamment la vitamine B12 qui participe à la formation des globules rouges, peuvent également être apportées en plus grandes quantités. (Grandjean *et al.*, 2002) Les bénéfices et les recommandations de ces vitamines ont été développés précédemment et ne seront pas réabordés dans ce paragraphe.

d. La L-carnitine

La L-carnitine est un acide aminé non essentiel qui permet le passage des acides gras longs à travers la membrane des mitochondries afin qu'ils rejoignent leur site d'oxydation. Elle est synthétisée par l'organisme à partir d'autres acides aminés (lysine et méthionine) en présence de fer et des vitamines B et C. Cependant, un apport supplémentaire permet une meilleure utilisation des lipides pour fournir de l'énergie aux cellules et une épargne de la masse musculaire. En effet, en condition d'aérobiose, la carnitine peut devenir un facteur limitant du travail musculaire, ce qui favorise l'oxydation du glucose alors que des acides gras libres sont encore disponibles. (Kronfeld et Ferrante, 1990) De nombreuses études ont démontré l'intérêt d'ajouter de la carnitine dans la ration quotidienne pour les chiens pratiquant des efforts longs et en intensité semi-maximale. Cette supplémentation a des effets sur la production d'énergie métabolique (entrée des acides gras dans la mitochondrie, oxydation des acides gras à chaîne courte ou moyenne, production d'énergie à partir des corps cétoniques, du pyruvate et des acides aminés) et les capacités de récupération (élimination des surplus toxiques d'acétylcoenzyme A, régulation de l'ammoniémie). (Borum, 1983) Un apport de 50 mg/kg de poids corporel semble intéressant au vu des études réalisées sur des chiens de traîneau. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 2002) En revanche, une supplémentation en L-carnitine ne présente pas d'intérêt chez le lévrier de course qui effectue un effort bref anaérobie. (Grandjean, 1991b)

e. La super oxyde dismutase (SOD)

La super oxyde dismutase (SOD) est une enzyme antioxydante naturellement présente dans les globules rouges et les cellules musculaires. L'inconvénient de la SOD est qu'elle est très sensible à l'acidité gastrique, mais l'UMES a démontré l'intérêt d'une supplémentation en SOD vectorisée issue du melon. Sous cette forme, l'enzyme résiste à l'acidité gastrique et peut être absorbée normalement. Ajoutée à hauteur de 10 à 20 mg/kg de poids corporel, la SOD pourrait jouer un rôle prédominant dans la prévention du stress oxydatif lié à l'effort.

Toutefois, l'activité de la SOD est dépendante des apports en cuivre, dont la digestibilité est altérée si la ration est enrichie en calcium. (Uauy *et al.*, 1985) Afin de profiter des bénéfices d'une supplémentation en SOD, il faut donc ajuster les apports en cuivre en cas de ration enrichie en calcium. (Grandjean *et al.*, 2002)

f. Le diméthyl glycine (DMG)

Le NN-diméthyl glycine (DMG) est le principe actif de la vitamine B15. Il est utilisé comme supplément nutritionnel afin de retarder la sensation de fatigue car il améliore le stockage des phosphagènes musculaires, diminue la production des lactates et abaisse la lactatémie post-exercice. Des études ont montré que le DMG pouvait avoir une efficacité sur les performances du chien sportif en élevant le seuil anaérobie. (Poulter, 1987) Une étude sur des lévriers de course (Gannon et Kendall, 1982) a montré qu'une supplémentation en DMG permettait d'améliorer les temps de course sur des distances de 510 ou 720 mètres. Aucune amélioration n'a été obtenue sur une course de 200 mètres, ce qui confirme que le DMG n'a aucun effet sur l'utilisation des phosphagènes. En revanche, la réduction du temps de course étant similaire sur les distances de 510 et 720 mètres (0,1 à 0,3 secondes), cela montre que le DMG favorise l'oxydation du glycogène musculaire plutôt que celle du glucose sanguin. Ainsi, un apport de DMG à la dose de 1,5 mg/kg est intéressant lors d'efforts anaérobies ou aéro-anaérobies. (Grandjean *et al.*, 2002)

g. L'inosine

L'inosine est un précurseur de l'ATP et un cardiotonique puissant. Une supplémentation en inosine permettait de stimuler le métabolisme de la cellule myocardique. (Aviado et Juhasz-Nagy, 1977) En effet, elle favorise la voie des pentoses phosphates en activant les processus de phosphorylation, stimule l'entrée du glucose dans la cellule, et intensifie l'activité de la voie oxydative en multipliant les crêtes mitochondriales. Elle permet aussi d'apporter davantage d'oxygène au myocarde en activant le métabolisme des globules rouges, et elle limite les conséquences cellulaires liées à l'accumulation d'acide lactique. (Grandjean *et al.*, 2002) Une administration d'inosine à la dose de 10 mg/kg, pendant les dix jours précédant une compétition, n'améliorerait pas les capacités d'endurance mais permettrait une meilleure récupération chez le chien non entraîné. (Sarret, 1991)

h. Les probiotiques

Les probiotiques sont des bactéries ou des levures capables d'apporter au chien des nutriments comme des acides aminés, des vitamines du groupe B et des enzymes. Ils améliorent également la santé du tube digestif en permettant une biorégulation de la flore intestinale, en jouant un rôle antibactérien envers les germes pathogènes, et en stimulant l'immunité locale et générale. Enfin, ils améliorent la digestion car ils produisent des enzymes digestives et ils favorisent une meilleure assimilation des protéines alimentaires. (Grandjean *et al.*, 2002)

i. Les chondroprotecteurs

Les chondroprotecteurs sont des dérivés de l'acide glycuronique, l'élément fondamental du cartilage. Ils sont donc intégrés facilement à la matrice cartilagineuse et ils y sont remplacés continuellement. La chondroïtine sulfate, les glycosaminoglycanes polysulfatés, et la poudre de moule verte sont couramment utilisés à des fins de prévention et de traitement d'affections articulaires dégénératives (ostéochondrose, arthrose, etc.). Il apparaît donc intéressant d'en ajouter à la ration des chiens de sport en prévention d'affections articulaires traumatiques. (Grandjean *et al.*, 2002)

F. Rationnement pratique

a. Digestibilité de l'aliment

L'accélération du transit digestif induite par l'effort doit être prise en compte dans le choix de l'alimentation pour que celle-ci permette une bonne valorisation de l'énergie consommée. Tout d'abord, le temps de séjour gastrique doit être optimisé. S'il est trop court, la prédigestion physiologique des protéines se fait de manière incomplète, ce qui prédispose aux diarrhées car les protéines non-digérées fermentent dans le gros intestin et génèrent un appel d'eau important. De plus, ce phénomène est accentué par le stress. A l'inverse, si le temps de séjour gastrique est trop long, il peut induire une stase gastrique susceptible de favoriser des vomissements voire une torsion de l'estomac à la reprise de l'effort. Empiriquement, il est observé que la présentation physique de l'aliment est principalement en cause, les meilleurs résultats ayant été obtenus avec des aliments complets secs après les avoir réhydratés en recouvrant les croquettes d'eau tiède environ trente minutes avant le repas. L'idéal est d'avoir recours à des croquettes extrudées qui conservent leur forme initiale sans se déliter sous forme de soupe, car un repas trop hydraté provoque un effet « d'eau » dans l'estomac, avec libération dans l'intestin de protéines non-prédigérées qui seront à l'origine de diarrhée osmotique. (Grandjean *et al.*, 2002, 1991b)

La digestibilité de l'aliment est également à prendre en compte. En effet, l'accélération du transit digestif induite par l'effort réduit les temps d'action des enzymes digestives. Pour rendre l'énergie facilement disponible et rapidement utilisable par l'organisme durant l'effort, il est donc indispensable de se tourner vers des aliments secs hautement digestibles qui génèrent un encombrement alimentaire et un volume fécal faibles. (Grandjean *et al.*, 1991b)

La digestibilité d'un aliment, caractérisée par le coefficient d'utilisation digestive (CUD), est une donnée concrète reflétant la valorisation de l'aliment par le chien au niveau de son tube digestif. Au plan pratique la digestibilité de l'aliment s'évalue par la quantité, la fréquence d'émission et la qualité des fèces du chien. On peut par exemple comparer le volume fécal au volume ingéré. L'optimum se situe chez le chien de sport à 45 à 50 grammes de fèces pour 100 grammes de matière sèche ingérée. Deux paramètres conditionnent l'aspect global des fèces d'un chien :

- La digestibilité de la matière sèche de l'aliment (CUDMS) qui peut se calculer ainsi :
$$\text{CUDMS} = \text{MS ingérée} - \text{MS excrétée} ;$$
- L'humidité des excréments.

L'humidité des fèces est importante. Ils contiennent normalement 65 à 75 % d'eau. Une baisse de leur teneur en haut réduira donc de manière importante leur volume et améliorera leur

tenue. De nombreux paramètres peuvent modifier la valeur de la digestibilité d'un aliment. Par exemple un même aliment n'aura pas la même digestibilité selon la race du chien. De même, une augmentation du volume d'aliment ingéré en un seul repas se traduit par une moins bonne digestibilité, ce qui amène souvent à conseiller de fractionner les repas dans la journée pour les chiens au tube digestif sensible ou ayant de forts besoins nutritionnels (sport, lactation). (Grandjean *et al.*, 2002)

Ainsi, la digestibilité de l'aliment permet de différencier un aliment de bonne et de mauvaise qualité.

b. Relation alimentation-entraînement

Le plan de rationnement doit suivre l'évolution de la charge d'activité au cours de l'année. En général, la saison commence par un entraînement de fond aspécifique, suivi d'une augmentation des séances spécifiques (vitesse, résistance, puissance), afin d'atteindre un plateau correspondant à la période de compétition. Enfin, le chien doit suivre une phase de désentraînement progressif avant d'être mis au repos. (Grandjean, 1995; Grandjean *et al.*, 1991b) Le plan de rationnement peut être organisé ainsi :

- En période de repos, un aliment d'entretien de bonne qualité doit être apporté afin de ne pas fournir trop d'énergie.
- En période d'entraînement, il faut passer progressivement à une alimentation de travail, ou bien ajouter progressivement à l'aliment d'entretien des compléments alimentaires de travail.
- En période de compétition, il peut être nécessaire d'ajouter des adaptations nutritionnelles supplémentaires (protéines, L-carnitine, vitamine C) afin de pallier le stress additionnel. (Grandjean *et al.*, 1993) La ration peut également être ajustée quantitativement afin de maintenir le poids de forme du chien.
- En période de désentraînement, la ration doit revenir progressivement à un aliment d'entretien.

De manière qualitative, le taux de matière grasse doit être adapté à la proportion de l'entraînement en aérobie. Etant donné que la majorité des séances d'endurance ont lieu en début de saison d'entraînement, la teneur en matières grasses doit être plus importante en début de période d'entraînement. Par exemple, pour un chien fournissant des efforts ne dépassant pas 20 à 30 minutes en compétition, comme le chien de canicross, le taux de matières grasses peut atteindre 20 % de la matière sèche en reprise d'entraînement, et descendre à 14-16 % de la matière sèche en période de compétition. (Grandjean *et al.*, 1991b)

c. Choix de l'aliment

- *Critères de choix*

La qualité de l'aliment est primordiale et la ration doit être nutritionnellement parfaitement équilibrée afin de couvrir les besoins du chien sans excès. Mais la ration doit également être présentée sous forme adaptée au chien et être convenablement distribuée afin d'être consommée le plus facilement possible.

L'alimentation du chien de sport doit prendre en compte les besoins énergétiques spécifiques, quantitatifs et qualitatifs, liés au travail musculaire, et les besoins nutritionnels relatifs

au stress physique et psychique. (Grandjean *et al.*, 1991b, 1991a) En pratique, l'aliment fourni au chien de sport doit (Grandjean, 1995; Grandjean *et al.*, 2002) :

- Couvrir le besoin d'entretien et apporter l'énergie nécessaire à son activité (fourniture de calories, vides glucidiques ou lipidiques selon l'effort) ;
- Être hyperdigestible et avoir une forte densité énergétique afin de générer un faible volume de matières fécales ;
- Aider à maintenir une bonne hydratation ;
- Avoir un effet tampon sur l'éventuelle acidose métabolique ;
- Contribuer à optimiser les effets des actions ergogènes ;
- Compenser les effets du stress induit (protéines de bonne qualité, acides gras de la famille des oméga-3, antioxydants, L-carnitine, vitamines C et B12).

Pour répondre à ces spécificités nutritionnelles, l'idéal est d'avoir recours à un aliment industriel complet sec élaboré pour la performance sportive, dans lequel les nutriments sont contrôlés sur les plans qualitatif et quantitatif. (Cléro et Grandjean, 2011)

- *Aliment d'entretien*

Pour certains propriétaires, l'approche la plus simple est d'augmenter la ration quotidienne selon l'élévation du besoin énergétique, sans changer l'aliment. En effet, lorsque l'augmentation du besoin énergétique est modérée et l'effort occasionnel ou peu intense, une simple augmentation quantitative de la ration habituelle permet de couvrir les besoins, à condition que cet aliment soit de bonne qualité (équilibré, complet et bien digestible). Dans ce cas, aucune approche spécifique de l'alimentation n'est envisagée, ce qui peut générer une moindre performance. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 1991b)

En revanche, pour des chiens fournissant un effort qui augmente nettement le besoin énergétique comme les chiens de traîneau, l'alimentation devra être adaptée qualitativement et pas uniquement de manière quantitative. Deux cas de figures, illustrés dans la figure 27, sont alors envisageables. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 1991b)

Une des solutions consiste à utiliser l'aliment d'entretien toute l'année. Il est alors supplémenté lors de l'entraînement et de la période de compétition. Dans ce cas, la meilleure base sera fournie par un aliment de type « 25/10 » (25 % de protéines et 10 % de matières grasses sur la matière brute, ce qui correspond à environ 27 % et 11 % de la matière sèche respectivement), à haute digestibilité (50 grammes de fèces pour 100 grammes de matière sèche ingérée). En conservant cet aliment d'entretien toute l'année, la complémentation d'entraînement puis de compétition sera assurée par des viandes ou des poissons maigres pour des efforts brefs, ou gras pour des efforts longs. Au pic d'entraînement, on peut ainsi atteindre progressivement une ration contenant un quart à un tiers d'aliment sec et trois quarts à deux tiers de viande ou poisson. Cette méthode aboutit donc à une ration mixte. L'avantage est que cette solution modifie peu les habitudes du chien ce qui limite le stress surajouté. Cette méthode permet aussi d'apporter plus d'énergie, de protéines et de lipides. Cependant, le risque est de déséquilibrer la ration car la viande apporte des calories, des protéines et du phosphore mais ne permet pas de couvrir les besoins en calcium et micronutriments (minéraux, vitamines, oligo-éléments). Il est alors indispensable d'ajouter un complément minéral et vitaminique sans phosphore afin de rééquilibrer la ration, et notamment le ratio phospho-calcique. (Blanchard et Paragon, 2020; Grandjean *et al.*, 1991b; Toll *et al.*, 2010) En revanche, si l'aliment sec complet constitue 50 à 75 % du poids de la

ration, et que les aliments frais ajoutés sont des aliments humides ou du gras, il est peu probable que des carences minérales et vitaminiques apparaissent. (Toll *et al.*, 2010)

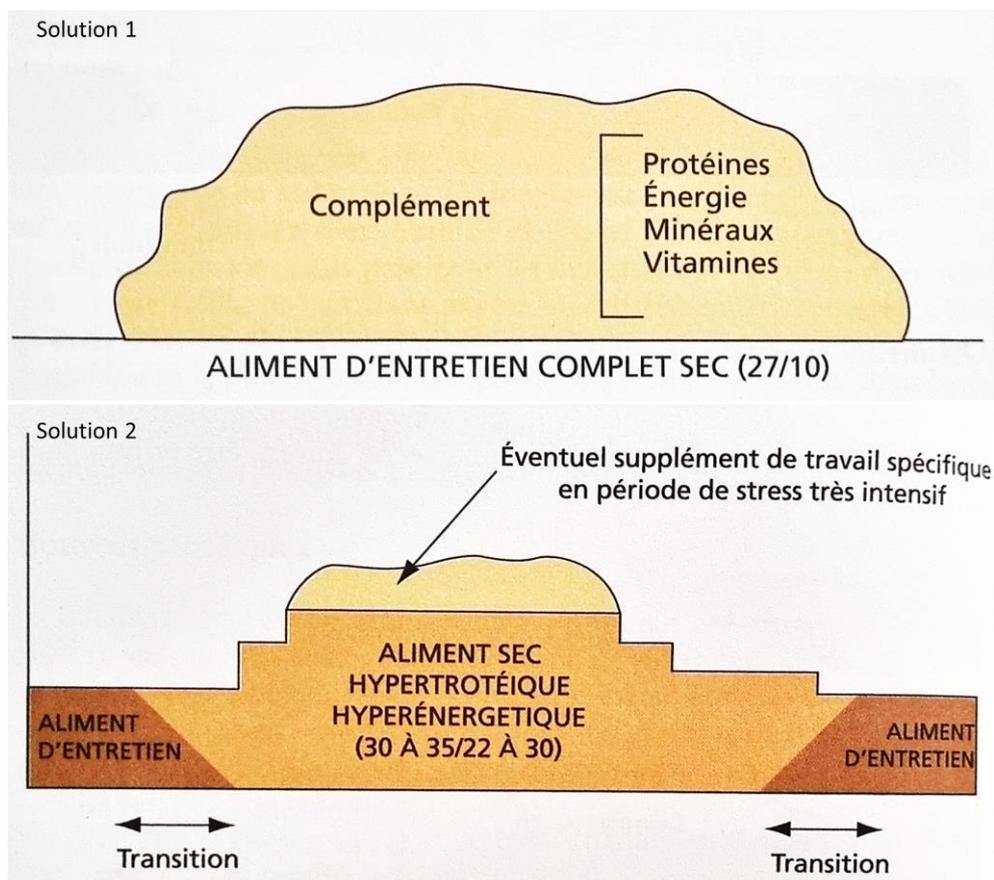
L'autre méthode consiste à utiliser l'aliment d'entretien uniquement durant la période de repos. Il est alors progressivement remplacé par un aliment complet spécifique dès que l'entraînement devient intensif, en respectant des transitions alimentaires sur quelques jours à deux semaines. (Grandjean *et al.*, 2002, 1991b)

- *Aliments spécifiques*

Idéalement, il faut avoir recours à un aliment de type « 30-32/22-25 » pour des efforts courts à moyens, et de type « 35/30 » pour les efforts longs. Une haute digestibilité, permettant un faible volume intestinal et fécal, sera là aussi indispensable. Les quantités devront être adaptées selon l'évolution du poids du chien.

Pour les chiens de traîneau, un aliment de type « 35/30 » sera adapté pour la majeure partie de la période d'entraînement, ainsi qu'en compétition pour les courses de petits attelages (trois à six chiens). Au-delà, une complémentation spécifique en protéines, graisses, minéraux et vitamines est nécessaire. En longue distance, un aliment complet semi-humide de type « 36/36 » serait l'idéal mais il en existe très peu sur le marché. (Grandjean *et al.*, 1991b)

Figure 27 : Plans de rationnement chez le chien de sport (Grandjean *et al.*, 2002)



d. Modalités de distribution

Au-delà de l'importance de l'apport d'énergie et de nutriments essentiels, une alimentation convenable pour un chien de sport ou de travail passe également par certaines modalités pratiques de distribution de repas. La fréquence et le moment de distribution des repas influencent la performance en aidant à prévenir les problèmes de torsion d'estomac et de diarrhées de stress et en permettant à l'organisme de recevoir au moment adéquat les métabolites dont il a besoin. (Grandjean *et al.*, 2002; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Il convient d'essayer de fractionner au maximum les repas du chien de sport. Une alimentation répartie sur la journée est largement préférable à la distribution unitaire d'un seul repas copieux. Idéalement, l'aliment doit être distribué en deux à trois repas par jour. Mais selon l'appétit ou les habitudes du propriétaire, un chien peut aussi très bien être nourri une seule fois par jour. (Blanchard et Paragon, 2020; Cléro et Grandjean, 2011; Grandjean *et al.*, 2002)

Aucune étude chez le chien ne s'est intéressée au moment de distribution idéal de l'aliment par rapport à l'exercice physique. Toutefois, il convient de ne jamais alimenter un chien immédiatement avant un effort. Il est conseillé de fournir un quart (effort court) à un tiers (effort long) de la ration quotidienne au moins trois heures avant l'effort afin de permettre une vidange gastrique complète avant le début de l'exercice. Cela permet de limiter les risques de vomissements et de diarrhées de stress lors de l'effort. De plus, un tel niveau d'approvisionnement permet d'éviter le coup de fatigue lié au pic d'insuline induit par le repas. Enfin, un repas ingéré peu de temps avant un exercice aurait pour conséquence d'amplifier l'hyperthermie d'effort du fait de la chaleur relarguée par le processus de digestion. (Toll *et al.*, 2010) Ce repas de préparation pourra être distribué très hydraté (trois à quatre fois plus d'eau que de nourriture) afin de compenser la perte hydrique liée à l'effort. (Cléro, 2015; Grandjean *et al.*, 2002)

Pour les chiens effectuant un effort de vitesse durant moins de 20 minutes, il est bénéfique de diminuer modérément le volume alimentaire 24 heures avant une compétition (une diminution de l'apport calorique de 20 à 30 %) pour diminuer le volume fécal, ce qui aide à prévenir la défécation durant l'exercice. Il est aussi possible de ne pas nourrir le chien dans les 8 heures avant l'exercice afin d'éviter une réduction de la performance. Dans le cas extrême des courses de lévriers, une diète de 24 heures peut être préconisée avant la course. (Cléro, 2015; Grandjean *et al.*, 2002; Wakshlag et Shmalberg, 2014)

Il faut être vigilant de ne pas proposer de nourriture immédiatement après l'exercice. Il est indispensable d'attendre environ deux heures après la fin de l'effort avant de distribuer le reste de la ration quotidienne, afin de laisser au flux sanguin le temps de se rediriger depuis l'appareil musculo-squelettique vers l'appareil digestif. (Hill, 1998) Cela est d'autant plus important pour les chiens à thorax profond prédisposés à la dilatation et torsion d'estomac. (Wakshlag et Shmalberg, 2014) Dans le cas du chien de traîneau en course par étapes ou en longue distance, une distribution plus précoce sera possible afin de prévenir une diarrhée de stress le lendemain. En cas de ration distribuée en une seule fois, il est préférable de la distribuer après l'effort plutôt qu'avant afin de limiter les risques de torsion d'estomac. (Cléro et Grandjean, 2011; Grandjean *et al.*, 2002)

Deuxième partie : étude expérimentale

1. Introduction

L'alimentation est un élément essentiel de la santé mais également de la performance du chien de sport. Toute activité sportive nécessite donc des adaptations quantitatives et qualitatives des apports nutritionnels. Le chien de canicross est considéré comme un chien pratiquant une activité intermédiaire d'intensité modérée à forte, il doit donc recevoir une alimentation adaptée à ses besoins liés à la charge d'effort demandée.

L'objectif de cette étude est d'étudier les habitudes des propriétaires de chiens pratiquant le canicross afin de savoir si ces derniers reçoivent une alimentation adaptée à leurs besoins. Afin de collecter les différentes informations sur les chiens, leur activité physique et leur alimentation, un questionnaire a été diffusé aux propriétaires de chiens pratiquant le canicross.

2. Matériels et méthodes

A. Elaboration du questionnaire

- *Population cible*

Les destinataires de ce questionnaire sont tous les pratiquants de canicross ou autre sport de traction mono-chien, propriétaires d'au moins un chien.

- *Choix des questions*

La plupart des questions sont des questions fermées ou à choix multiples. Ceci permet une analyse plus simple des réponses. Cependant, certaines questions sont ouvertes ou contiennent une réponse « autre » afin de laisser aux répondants la possibilité de compléter leur réponse.

Le questionnaire est composé de 66 questions communes à tous les répondants, et d'autres qui dépendent des réponses à certaines questions. Celles-ci sont réparties en sept sections (voir annexe 1) :

- Les informations sur le chien (son identité, sa santé, son lieu de vie) afin de définir le profil des chiens pratiquant le canicross ;
- Les activités du chien (temps d'activité, sports pratiqués, charge d'entraînement) afin de caractériser l'effort et d'évaluer les besoins nutritionnels d'un chien de canicross ;
- L'alimentation pratique du chien (type de ration, fréquence de distribution des repas) afin de connaître les modalités de rationnement choisies par les propriétaires ;
- Le contenu de la ration (croquettes et/ou aliments frais utilisés, et en quelles quantités, les questions étant différentes si le chien est nourri avec des aliments industriels, une ration fraîche, ou une ration mixte) afin d'étudier les apports nutritionnels ;

- La complémentation (compléments quotidiens, snacks de charge et de récupération) afin de préciser les pratiques des propriétaires ;
- L'hydratation (protocole d'hydratation, solution électrolytique) afin de connaître les habitudes des propriétaires ;
- Les informations sur le propriétaire afin de déterminer le profil des répondants et d'indiquer les sujets à aborder pour leur information et sur quel support.

B. Mode de diffusion

- *Support*

Le questionnaire a été réalisé sur deux supports différents afin de convenir au plus grand nombre de propriétaires selon leurs préférences. Il a d'abord été réalisé sous le format PDF, qui pouvait être imprimé et rempli à la main, ou bien téléchargé et rempli informatiquement. Le questionnaire a également été retranscrit sur le logiciel de formulaires et d'enquêtes Google FormsND qui permet de répondre aux questions directement en ligne sans téléchargement. La version en ligne a été la plus utilisée par les répondants.

- *Canal utilisé*

A partir d'avril 2021, le questionnaire a été diffusé sur les réseaux sociaux. Il a d'abord été publié par le Professeur Dominique Grandjean sur son compte personnel. Puis, après échange de mails et discussion téléphonique avec le président de la FSLC, Yvon Lasbleiz, le questionnaire a été diffusé sur la page de cette fédération. Ces relais ont permis d'autres partages dans le monde du canicross, notamment par le biais d'autres fédérations comme la Fédération Belge de Canicross.

C. Analyse des résultats

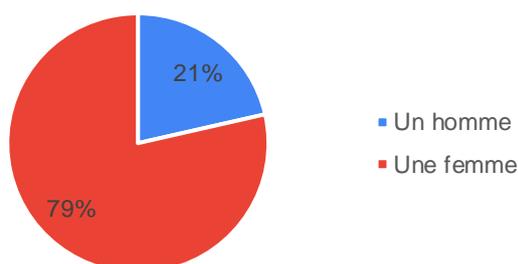
Un nombre de 98 réponses ont été reçues. Les données recueillies ont été exportées et exploitées dans le tableur Microsoft Excel[®] à l'aide de tableaux croisés dynamiques afin de réaliser des statistiques descriptives.

3. Résultats

A. Profil des répondants

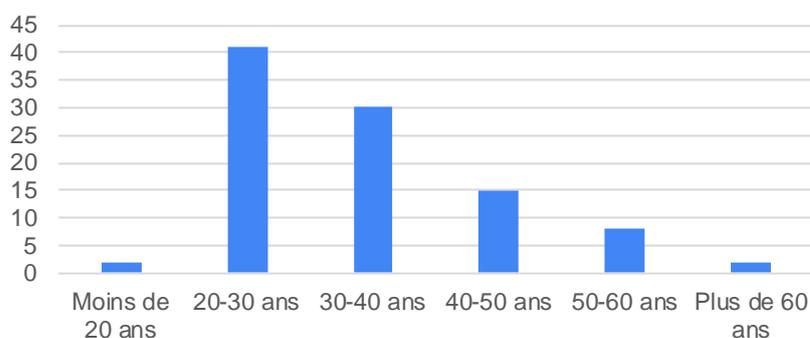
On observe sur la figure 28 que la répartition du sexe des répondants n'est pas équitable. On trouve 79 % de femmes contre seulement 21 % d'hommes. Cela n'est pas représentatif de la population pratiquant le canicross. En effet les femmes représentaient 53 % des adhérents à la FSLC en 2019.

Figure 28 : Répartition, en nombre, des répondants selon leur sexe



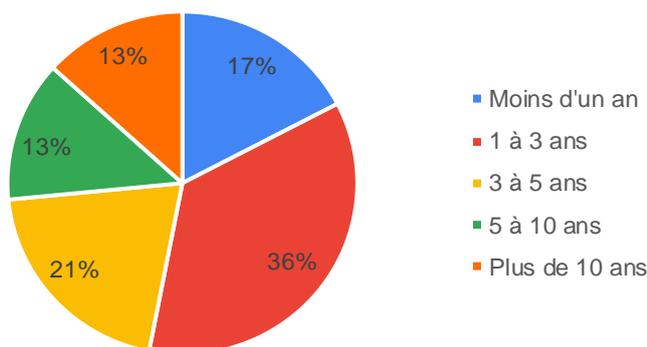
On observe sur la figure 29 que la majorité des répondants (87,7 %) ont entre 20 et 50 ans. Cela peut être expliqué par le mode de diffusion par les réseaux sociaux, à laquelle les générations plus âgées sont moins habituées.

Figure 29 : Répartition, en nombre, des répondants selon leur âge



On observe sur la figure 30 que la majorité des répondants pratiquent le canicross depuis un à trois ans (36 %). Plus généralement, la plupart des répondants (74 %) sont débutants à intermédiaires avec moins de 5 ans d'expérience dans les sports de traction mono-chien. Cela confirme que le canicross et les sports similaires sont des activités nouvelles en pleine expansion.

Figure 30 : Répartition des répondants selon le nombre d'années de pratique des sports de traction mono-chien

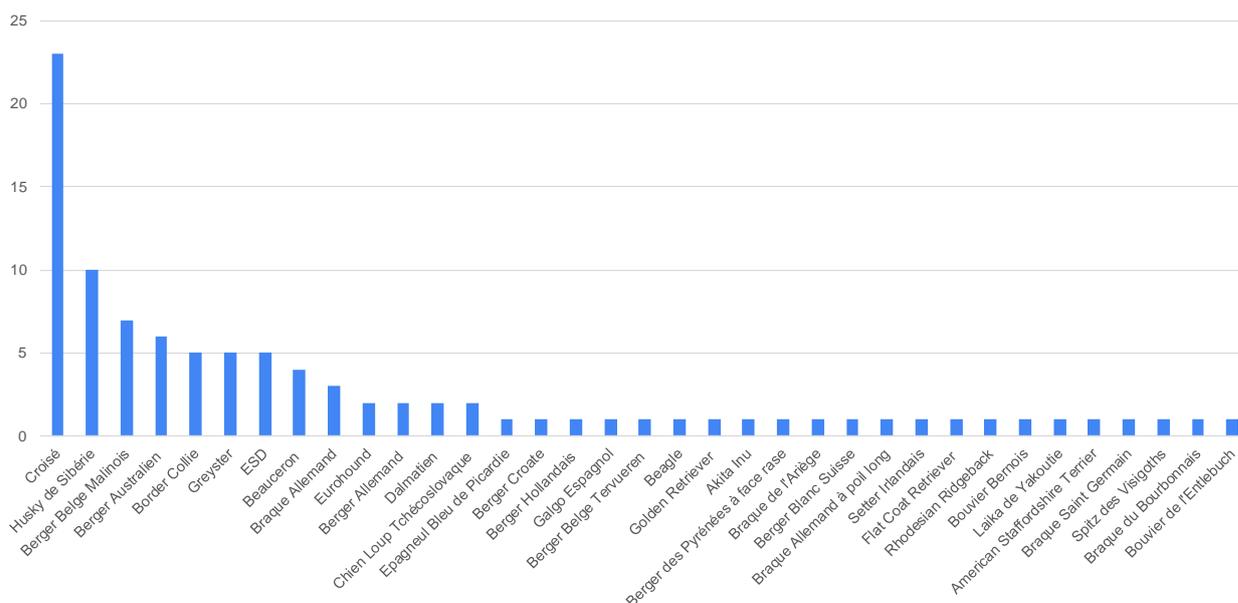


B. Les chiens de l'étude

a. Caractéristiques

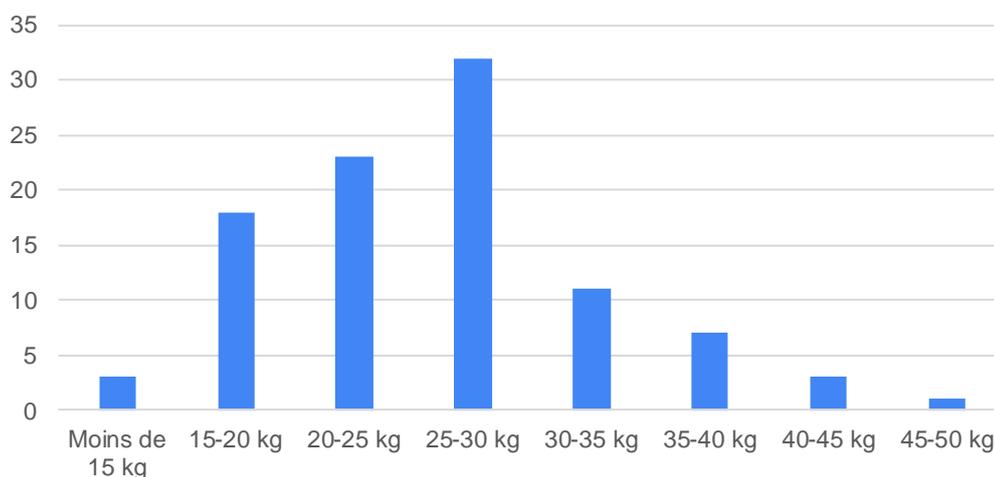
On compte 34 races différentes dans l'échantillon étudié. Les races de chiens pratiquant le canicross sont donc très diversifiées. Cependant, certaines races ou croisements se démarquent des autres. On observe sur la figure 31 que la majorité des chiens sont de races croisées non spécifiques (23,5 %). La race nordique du Husky de Sibérie représente également une part importante des chiens de canicross (10,2 %). Les races de chiens de berger les plus courantes (Berger Belge Malinois, Berger Australien, Border Collie) sont également très représentées (18,4 %). Enfin, les races croisées spécifiquement sélectionnées pour la traction (Greyster, ESD, Eurohound) sont de plus en plus plébiscitées par les pratiquants (12,2 %).

Figure 31 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur race



De plus, on observe sur la figure 32 que la plupart des chiens sont de gabarit moyen, avec un poids compris majoritairement entre 15 et 30 kg (74,4 %). Les races naines (moins de 15 kg) et très grandes (plus de 40 kg) sont très peu représentées (3,1 % et 4,1 % respectivement). Cela peut s'expliquer par le fait que les petits chiens ont une traction moins puissante que les chiens de plus grand gabarit, tandis que les très grands chiens sont plus susceptibles de développer des problèmes ostéoarticulaires et leur gabarit nécessite d'être expérimenté en canicross pour supporter la puissance de la traction.

Figure 32 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur poids moyen



Comme le montre la figure 33, la répartition des deux sexes dans l'échantillon est totalement équitable. De plus, on observe sur la figure 34 que la plupart des chiens (64 %) sont stérilisés.

Figure 33 : Répartition des chiens de l'étude selon leur sexe

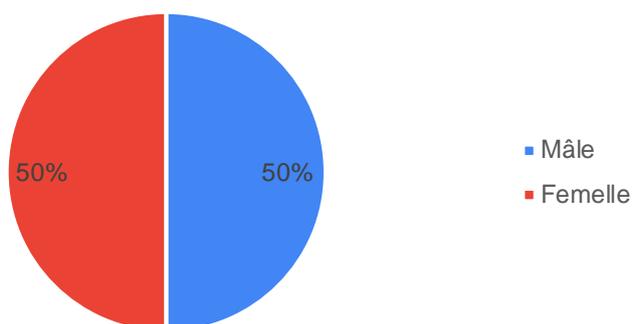
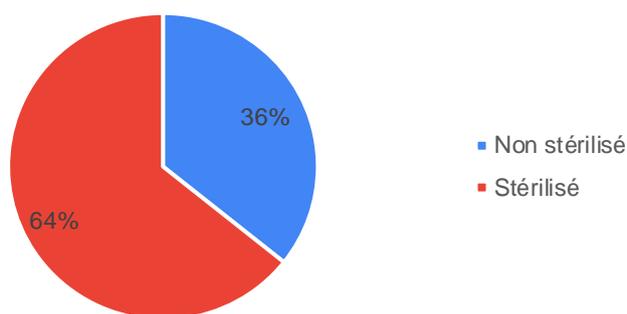
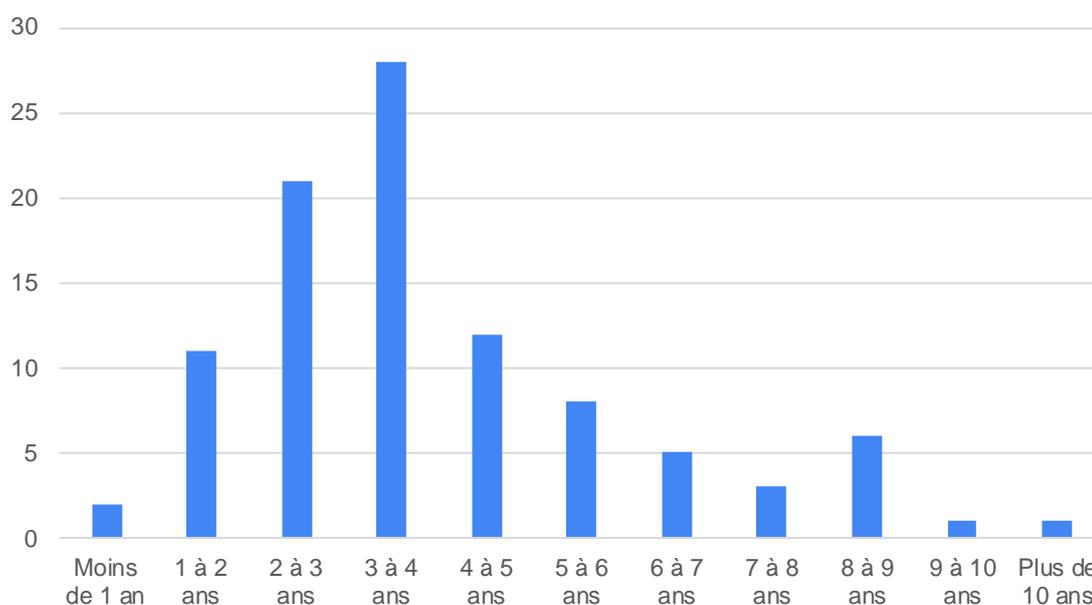


Figure 34 : Répartition des chiens de l'étude selon leur statut de stérilisation



D'après la figure 35, 81,6 % des chiens ont entre un et six ans. Plus particulièrement, la majorité des chiens (50 %) ont entre deux et quatre ans. La proportion de chiens de moins de un an est faible (2 %), ce qui s'explique par le fait qu'ils sont trop jeunes pour pratiquer les sports de traction leur croissance n'est pas terminée.

Figure 35 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur âge



D'après la figure 36, on observe que la majorité des chiens de l'étude sont anxieux ou hyperactifs (57 %). De plus, sur la figure 37, on observe que la majorité des chiens de l'étude vivent en maison ou en appartement, que ce soit en alternance avec un autre lieu de vie comme le jardin ou le garage (93,9 %), ou uniquement ce logement (68,4 %). Ces informations sont à prendre en compte dans le calcul du besoin énergétique des chiens.

Figure 36 : Répartition des chiens de l'étude selon leur tempérament

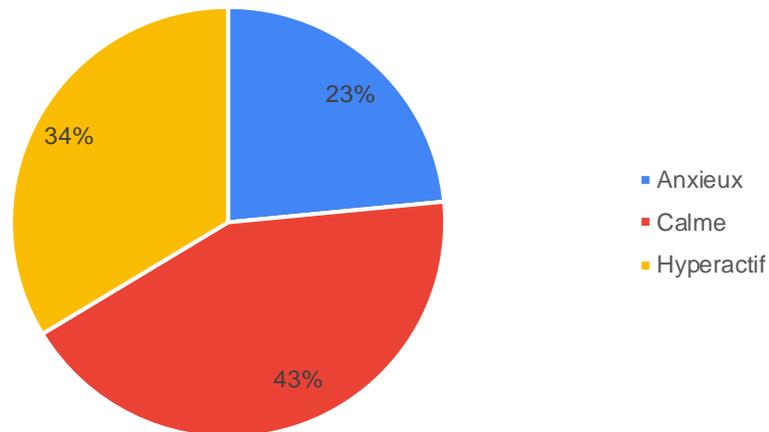
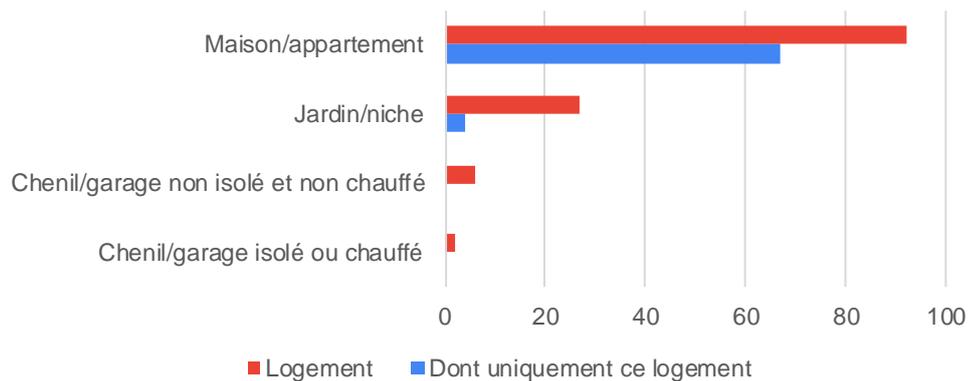


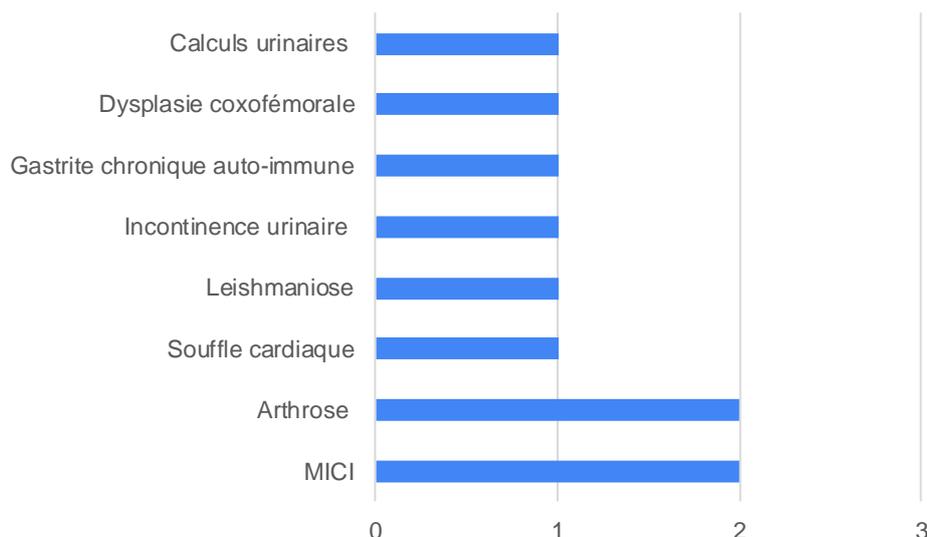
Figure 37 : Répartition, en nombre, du type de logement des chiens de l'étude



b. Santé

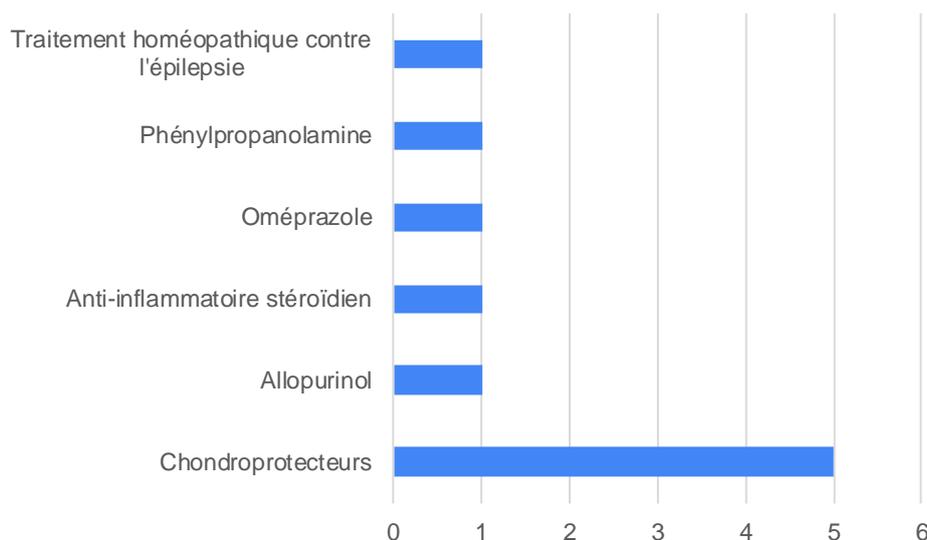
D'après la figure 38, on observe que 9 % des chiens de l'étude présentent une maladie chronique. Un chien présente simultanément deux maladies (gastrite chronique et incontinence urinaire). Les maladies les plus représentées sont l'arthrose et la Maladie Inflammatoire Chronique de l'Intestin (MICI) avec chacune 20 % des maladies présentées.

Figure 38 : Répartition, en nombre, des maladies chroniques présentées par les chiens de l'étude



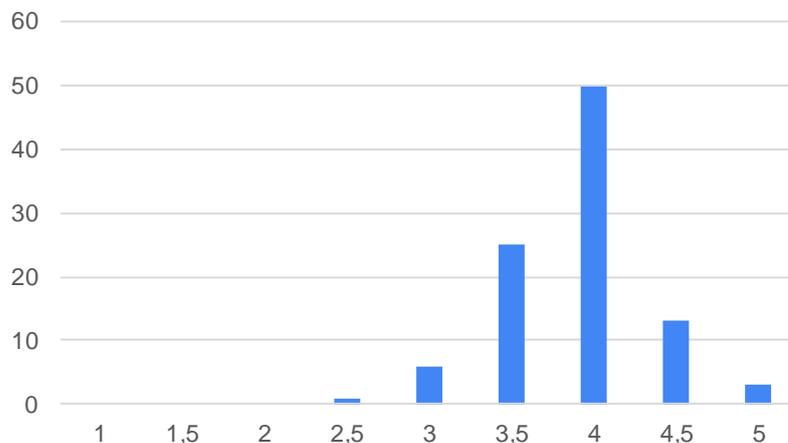
D'après la figure 39, on observe que 9 % des chiens de l'étude suivent un traitement au long cours. Un chien reçoit simultanément deux traitements (oméprazole et anti-inflammatoires stéroïdiens). Le traitement le plus représenté est la famille des chondroprotecteurs avec 50 % des traitements reçus. On remarque qu'il y a plus de chiens recevant des chondroprotecteurs que de chiens souffrant d'arthrose. Cela peut s'expliquer par le fait que certains propriétaires donnent des chondroprotecteurs en prévention des problèmes ostéoarticulaires.

Figure 39 : Répartition, en nombre, des traitements au long cours reçus par les chiens de l'étude



D'après la figure 40, 89,8 % des chiens de l'étude ont un score fécal compris entre 3,5 et 4,5. De plus, 51 % des chiens ont un score fécal de 4, qui est le score idéal. Ainsi, la majorité des chiens de l'étude ont un score fécal idéal ou proche de l'idéal, ce qui traduit une digestion optimale.

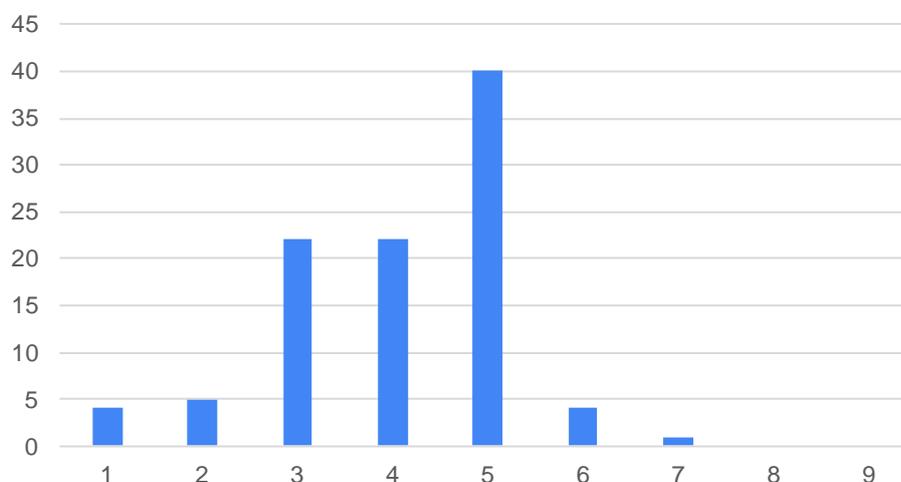
Figure 40 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur score fécal



c. Etat physique

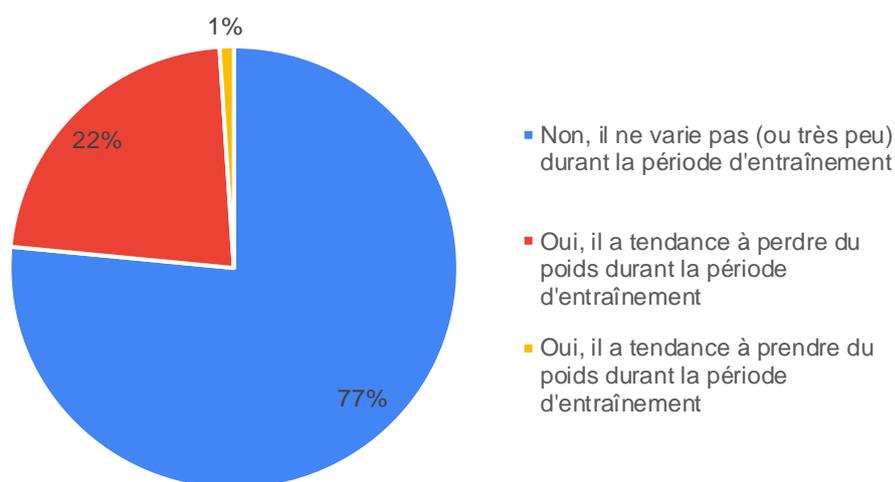
D'après la figure 41, on observe que 86 % des chiens de l'étude ont une NEC comprise entre trois et cinq ce qui correspond à l'état corporel idéal pour pratiquer une activité sportive. 5 % des chiens ont une NEC de six ou sept, ce qui correspond à un surpoids léger à modéré, et n'est pas idéal pour la pratique sportive au vu des risques ostéoarticulaires associés. Les répondants disposaient d'une illustration pour les aider à estimer la NEC de leur chien. Cependant, 9 % des chiens ont une NEC de un ou deux, ce qui est très faible et traduit probablement une erreur de d'évaluation de la part des propriétaires. D'ailleurs, il était demandé aux répondants d'envoyer des photographies de leur chien afin de minimiser le risque d'erreur d'appréciation, mais trop peu de photographies ont été reçues, ne permettant pas une correction des erreurs, et ne permettant pas d'étudier la capacité des propriétaires à évaluer l'état corporel de leur chien.

Figure 41 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon leur note d'état corporel



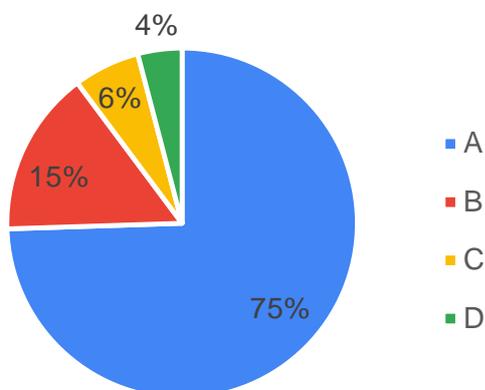
On observe sur la figure 42 que 77 % des chiens ne voient pas leur poids varier durant la période d'entraînement, ce qui traduit une bonne adaptation quantitative des apports énergétiques pour la majorité des chiens. Au contraire, on observe que 22 % des chiens perdent du poids durant la période d'entraînement, ce qui montre une sous-estimation des besoins énergétiques des chiens. Enfin, un chien de l'étude a tendance à prendre du poids durant la période d'entraînement, ce qui montre une sur-estimation des besoins du chien.

Figure 42 : Répartition des chiens de l'étude selon la variation de leur poids durant la période d'entraînement



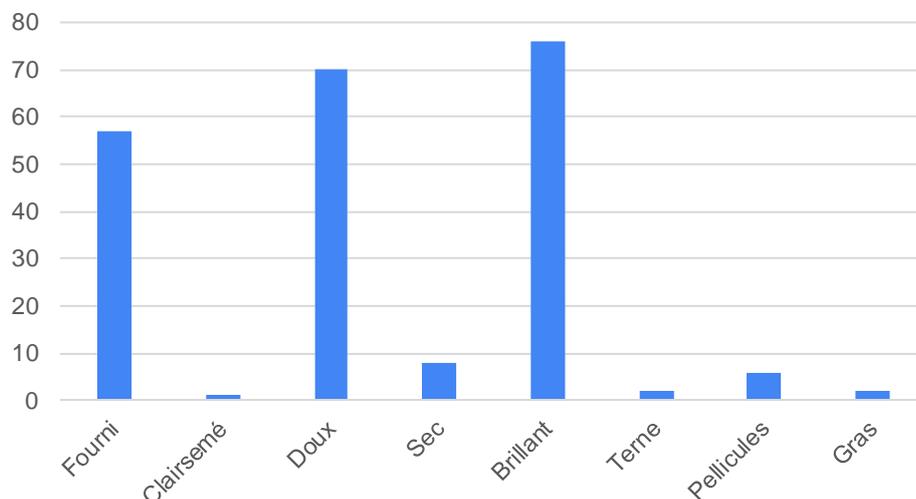
On observe sur la figure 43 que la majorité des chiens, soit 75 %, ont une masse musculaire normale (indice A) d'après leur propriétaire, et 15 % ont une perte musculaire mineure (indice B). Enfin, 10 % des chiens ont une perte musculaire modérée à sévère (indices C et D), mais ces réponses sont très probablement des erreurs d'estimations étant donné le contexte de pratique sportive.

Figure 43 : Répartition des chiens de l'étude selon leur indice de masse musculaire



On observe sur la figure 44 que la majorité des chiens ont le poil fourni, doux et brillant (58 %, 71 % et 78 % respectivement) ce qui montre que la plupart des propriétaires sont satisfaits de la qualité du poil de leur chien.

Figure 44 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la qualité de leur poil

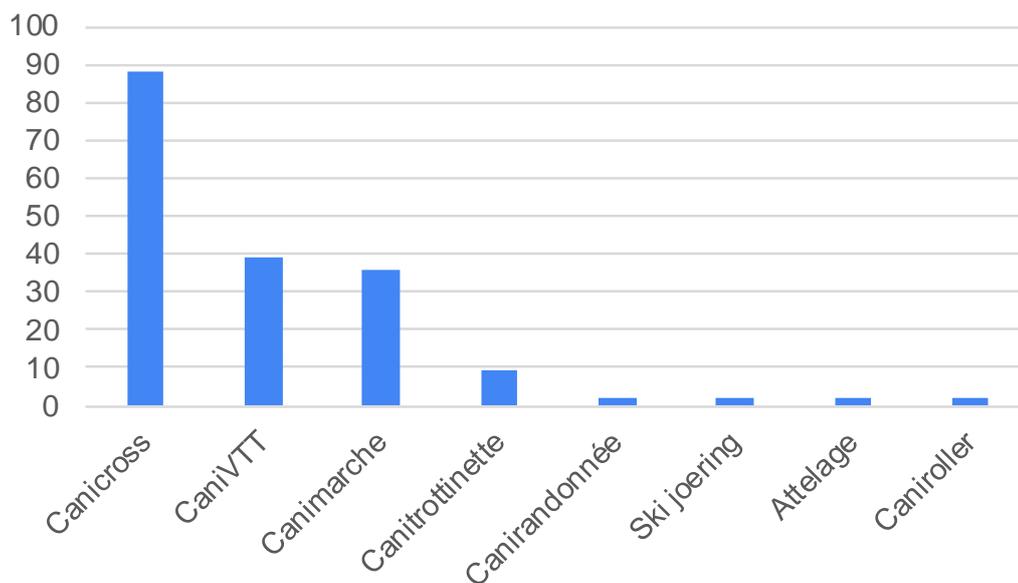


C. Les activités des chiens

a. Les sports de traction pratiqués

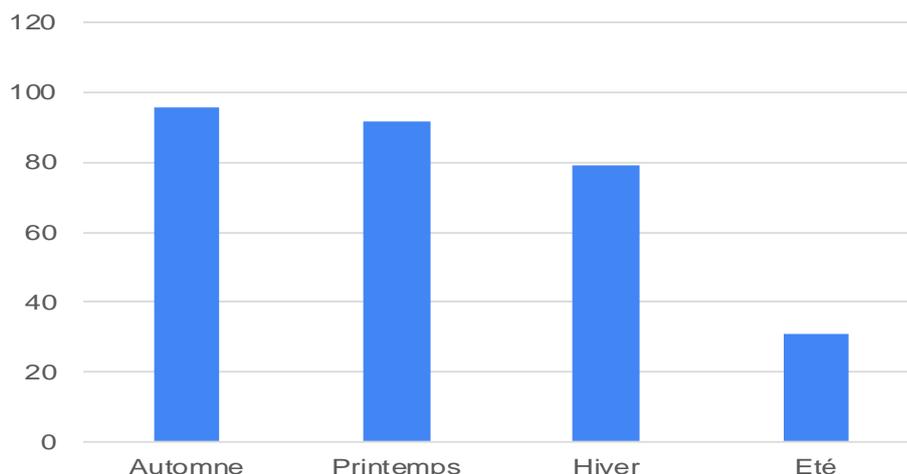
Sur la figure 45, on observe que les sports les plus représentés sont le canicross, le caniVTT et la canimarche, avec 89,8 %, 39,8 % et 36,7 % des répondants respectivement. La canitrottinette est pratiquée par 9,2 % des répondants, tandis que la canirandonnée, le ski joering, le caniroller et l'attelage sont les disciplines les moins pratiquées avec chacune 2 % des répondants. Etant donné que le ski joering et l'attelage sont des disciplines propres à la FFST, il aurait été intéressant de demander aux participants s'ils sont licenciés dans une fédération, et si oui laquelle.

Figure 45 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les sports de traction pratiqués



Sur la figure 46, on observe que la majorité des chiens sont entraînés et/ou participent à des compétitions de sports de traction mono-chien en automne, au printemps et en hiver, avec respectivement 97,9 %, 93,9 % et 80,6 % des répondants. On remarque qu'une proportion importante des répondants (31,6 %) pratiquent également en été. Même si elles y sont plus rares, il existe en effet quelques compétitions ayant lieu l'été, comme le Trophée des Montagnes au mois d'août. Il est alors indispensable de s'entraîner tôt le matin afin d'éviter les hautes températures.

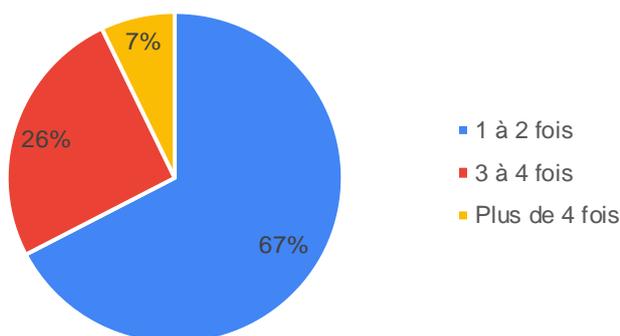
Figure 46 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les périodes d'entraînement et/ou de compétition



On observe sur la figure 47 que la majorité des chiens pratiquent une à deux fois par semaine les sports de traction (67 % des répondants). Une proportion importante de chiens

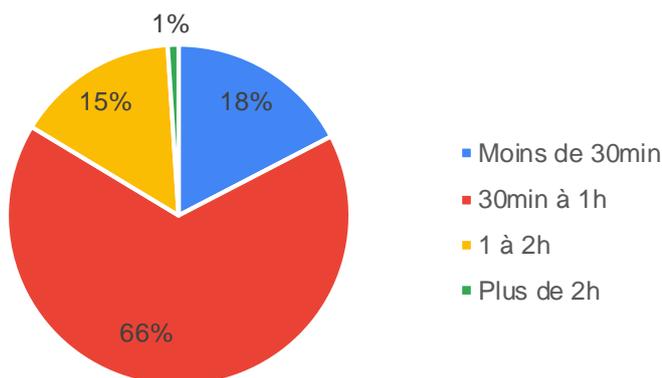
pratiquent de manière plus régulière, trois à quatre fois par semaine (26 % des répondants). Enfin, un faible pourcentage des chiens (7 % des répondants) pratiquent plus de quatre fois par semaine les sports de traction. Ces résultats montrent que les sports de traction mono-chien restent majoritairement des sports amateurs et que, pour la plupart des pratiquants, l'objectif est plus le loisir que la performance.

Figure 47 : Répartition des chiens de l'étude selon le nombre d'entraînements hebdomadaires



Sur la figure 48, on observe que 66 % des chiens ont des séances d'entraînement qui durent entre 30 et 60 minutes, 18 % fournissent un effort de moins de 30 minutes et 15 % entre une et deux heures. Un seul chien a des entraînements de plus de deux heures. La plupart des chiens de l'étude fournissent donc un effort de durée courte à moyenne.

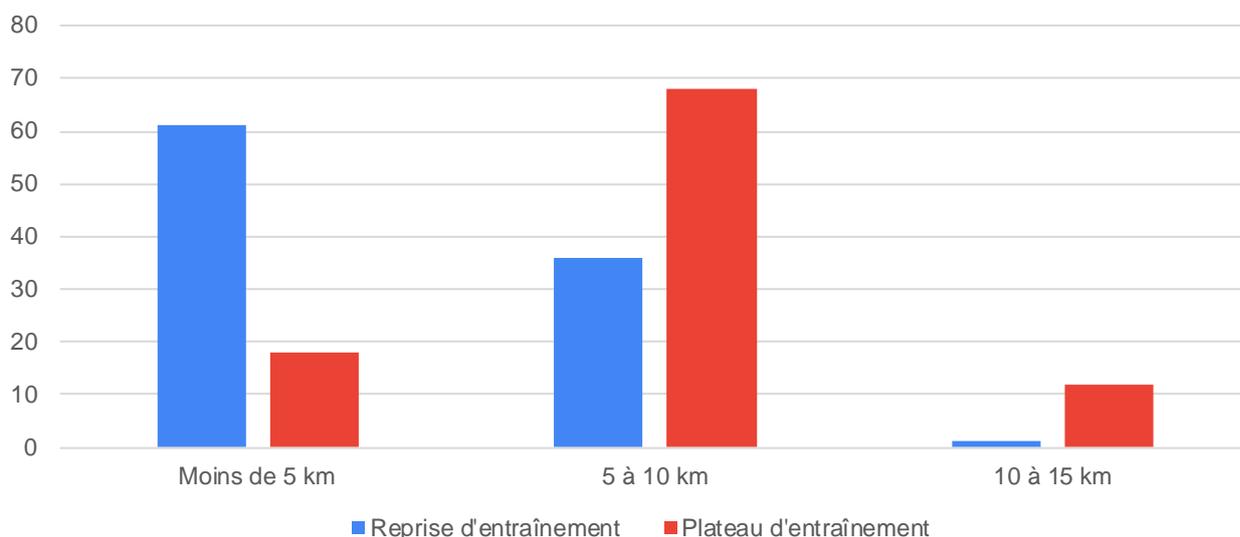
Figure 48 : Répartition des chiens de l'étude selon la durée moyenne d'une séance d'entraînement



Sur la figure 49, on remarque qu'en début de période d'entraînement, la majorité des chiens parcourent moins de 5 km lors d'une séance (62,2 % des chiens), 36,7 % des chiens parcourent 5 à 10 km et seulement un chien parcourt 10 à 15 km. Au plateau d'entraînement, la

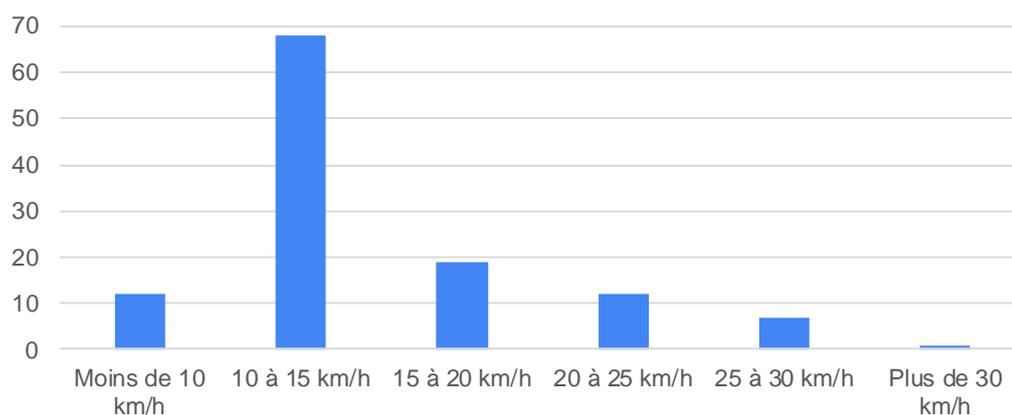
proportion de chiens parcourant moins de 5 km diminue, tandis que la proportion de chiens parcourant 5 à 15 km augmente. Ainsi, la majorité des chiens parcourent 5 à 10 km lors d'une séance (69,4 % des chiens), 18,4 % des chiens parcourent moins de 5 km et 12,2 des chiens parcourent 10 à 15 km. Dans les deux situations, aucun chien de parcourt plus de 15 km par séance. La majorité des chiens parcourent donc des distances relativement courtes en entraînement, et qui sont similaires à celles retrouvées en compétition.

Figure 49 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la distance parcourue durant une séance, en reprise ou au plateau d'entraînement



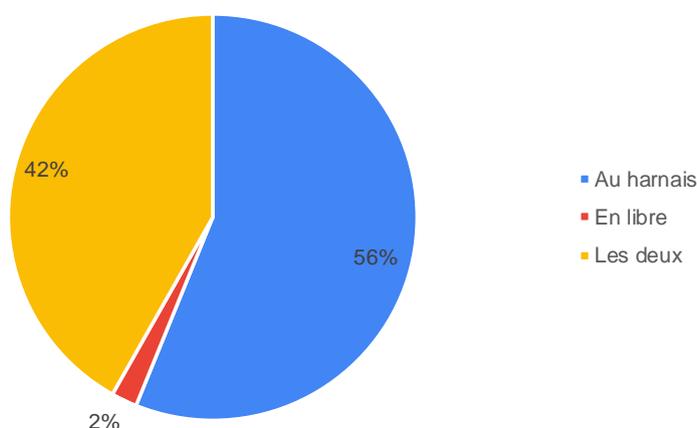
Sur la figure 50, on observe que la majorité des chiens courent à une vitesse moyenne comprise entre 10 et 15 km/h (69,4 % des chiens). Il y a également de nombreux chiens qui courent à une vitesse moyenne comprise entre 15 et 20 km/h ou entre 20 et 25 km/h (19,4 % et 12,2 % respectivement). On retrouve également 12,2 % des chiens courant à une vitesse plus faible, à moins de 10 km/h. Enfin, la proportion de chiens courant à des vitesses plus élevées, de 25 à 30 km/h voire à plus de 30 km/h est assez faible (7,1 % et 1 % respectivement). Ainsi, la plupart des chiens effectue un effort d'intensité modérée.

Figure 50 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la vitesse moyenne au cours d'une séance d'entraînement



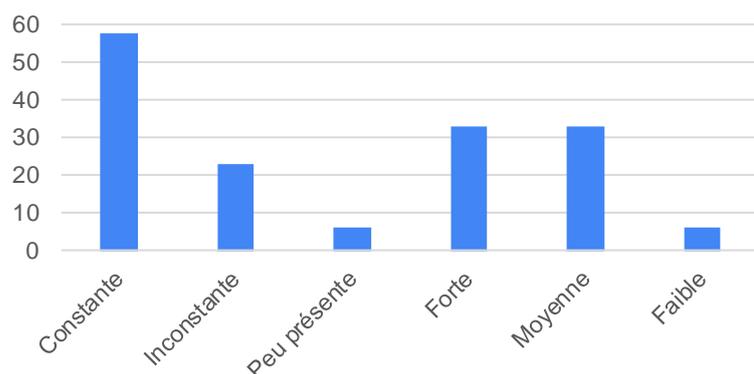
D'après la figure 51, on observe que la majorité des répondants (56 %) entraînent leur chien en situation de traction, tandis que 42 % des répondants alternent les entraînements en traction et en libre. Enfin, une minorité des répondants (seulement deux d'entre eux) entraînent leur chien totalement en libre.

Figure 51 : Répartition des chiens de l'étude selon les modalités d'entraînement



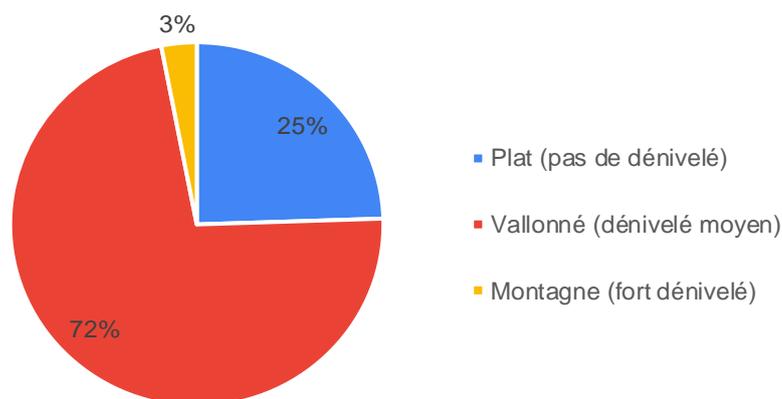
Selon la figure 52, on observe que la majorité des répondants (59,2 %) jugent que la traction de leur chien est constante. Une partie importante des répondants (23,5 %) trouvent que la traction de leur chien est inconstante. Enfin, 6,1 % des chiens tractent peu souvent d'après leur propriétaire. Concernant la puissance de la traction, la proportion de chiens qui tractent fortement est égale à la proportion de chiens qui tractent avec une puissance moyenne (33,7 % chacune). Enfin, 6,1 % des chiens ont une traction faiblement puissante d'après leur propriétaire. Ces données sont subjectives car elles dépendent du ressenti du coureur, selon son poids corporel et son niveau sportif.

Figure 52 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon la constance et la puissance de la traction



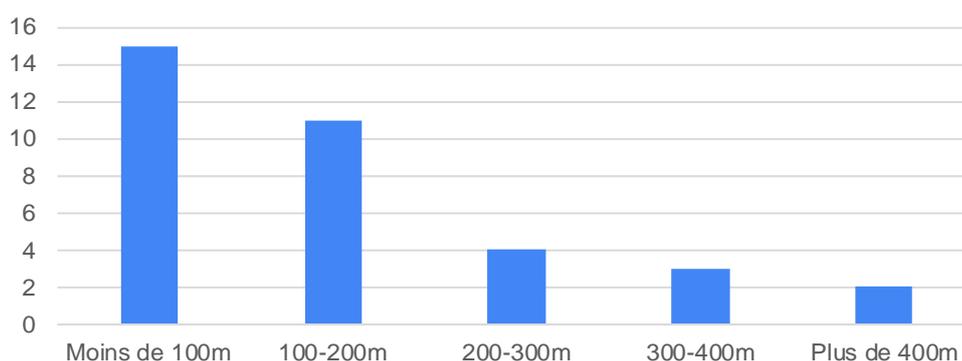
D'après la figure 53, on observe que la majorité des chiens (72 %) sont entraînés sur des terrains plutôt vallonnés, avec un dénivelé moyen. 25 % des chiens sont entraînés sur des terrains plus plats, sans dénivelé. Enfin, un faible pourcentage des chiens (3 %) sont entraînés en terrain montagneux avec un fort dénivelé.

Figure 53 : Répartition des chiens de l'étude selon le relief du terrain d'entraînement



Parmi les répondants entraînant leur chien en terrain vallonné ou montagneux, 35 répondants ont précisé le dénivelé moyen d'un parcours d'entraînement. On remarque sur la figure 54 que la majorité des répondants disposent d'un dénivelé de moins de 100 m (15 répondants) ou de 100 à 200 m (11 répondants). Quatre répondants ont un dénivelé entre 200 et 300 m. Peu de répondants ont un dénivelé de 300 à 400 m (trois répondants) ou de plus de 400 m (deux répondants).

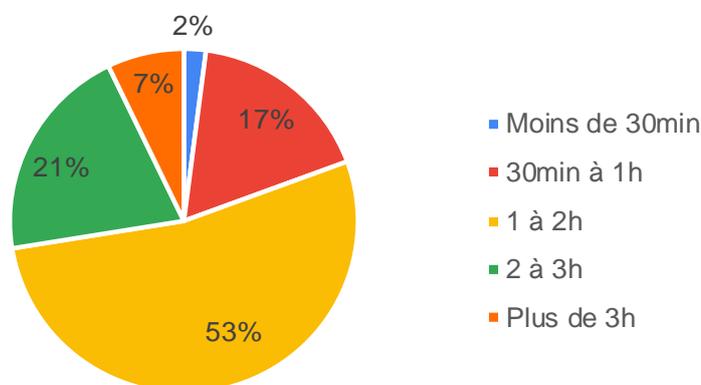
Figure 54 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le dénivelé moyen du terrain d'entraînement



b. Les autres activités

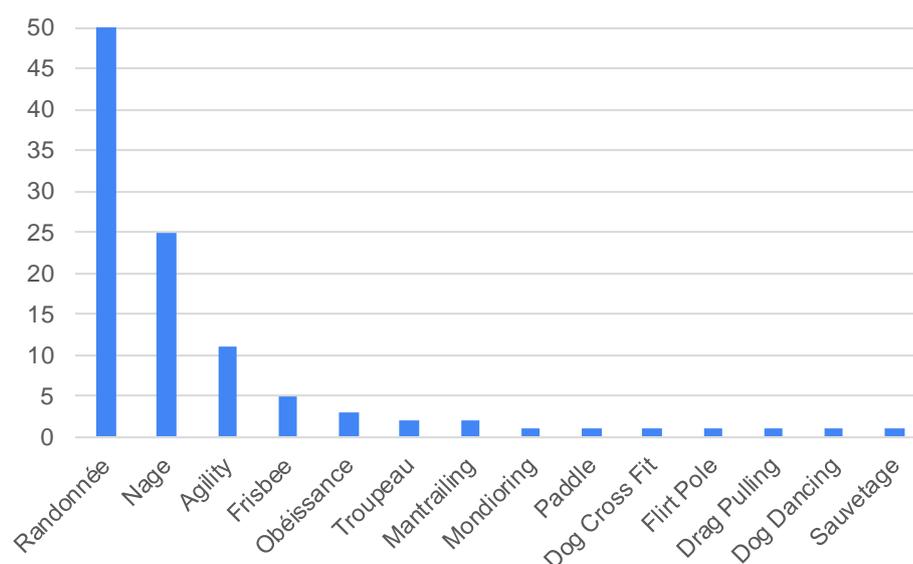
Sur la figure 55, on remarque que la majorité des chiens (53 %) disposent d'une activité quotidienne moyenne comprise entre une et deux heures. Certains chiens ont une activité quotidienne moyenne comprise 30 et 60 minutes, et une minorité de chiens (2 %) ont moins de 30 minutes d'activité quotidienne en moyenne. Certains chiens (21 %) ont une activité quotidienne moyenne comprise entre deux et trois heures, et peu de chiens (7 %) ont plus de trois heures d'activité quotidienne moyenne. Ainsi, la majorité des chiens sont plutôt sédentaires, étant donné que la quantité d'activité normale pour un chien se situe entre deux et trois heures d'activité.

Figure 55 : Répartition des chiens de l'étude selon le temps moyen d'activité extérieure quotidienne



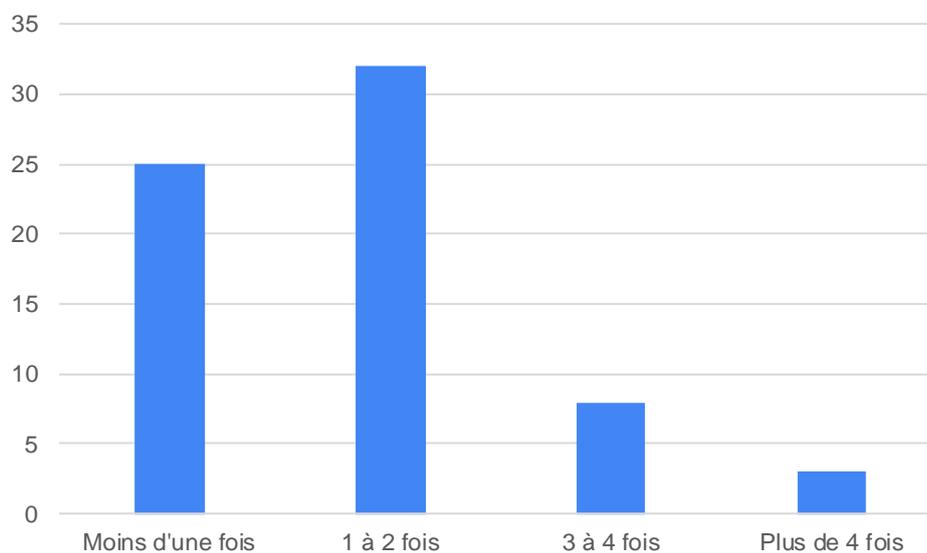
Outre les sports de traction mono-chien, 68 chiens (69,4 % des répondants) pratiquent également d'autres sports ou activités. Sur la figure 56, on observe que les activités les plus représentées sont la randonnée, la nage et l'agility avec 51 %, 25,5 % et 11,2 % des répondants totaux respectivement. De nombreuses autres activités sont également pratiquées par quelques chiens, comme le frisbee, l'obéissance, le troupeau, le mantrailing, le mondioring, etc.

Figure 56 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les autres activités et sports pratiqués



Sur la figure 57, on observe que les chiens qui pratiquent une autre activité s'entraînent majoritairement une à deux fois par semaine (47 %) ou moins d'une fois par semaine (36,8 %). Quelques chiens pratiquent l'autre activité trois à quatre fois par semaine (11,8 %) et peu de chiens pratiquent plus de quatre fois par semaine (4,4 %).

Figure 57 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le nombre de séances hebdomadaires des autres activités et sports pratiqués

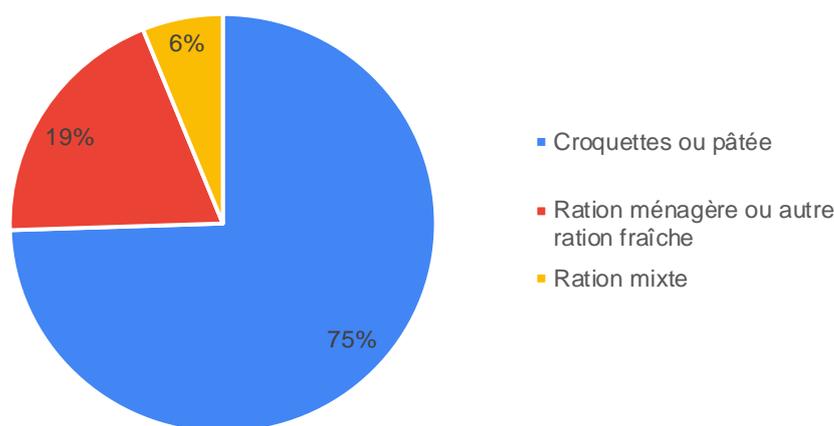


D. L'alimentation des chiens

a. Généralités

Sur la figure 58, on observe que la majorité des chiens de l'étude (75 %) sont nourris avec un aliment industriel, de type croquettes ou pâtée. De nombreux chiens (19 %) sont nourris avec une ration ménagère, ou une autre ration fraîche comme le Biologically Appropriate Raw Food (BARF). Enfin, quelques chiens (6 %) sont nourris avec une ration mixte, c'est-à-dire avec une part d'aliment industriel et une part d'aliments frais.

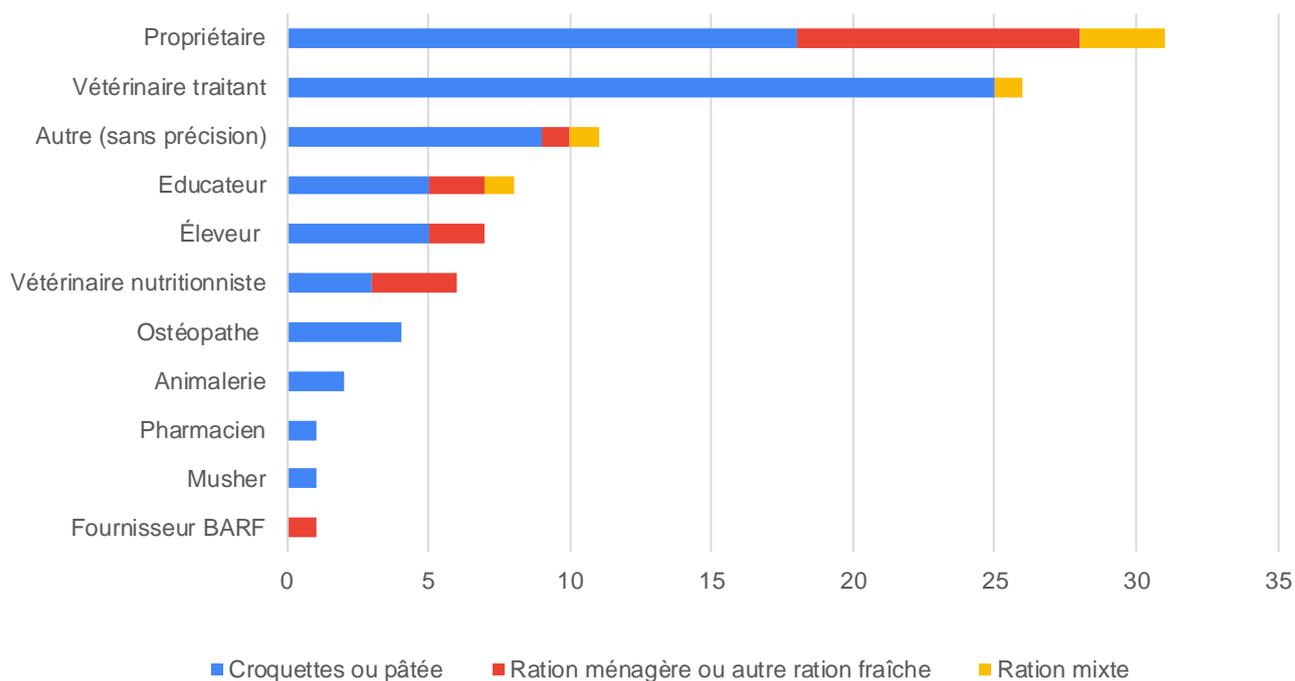
Figure 58 : Répartition des chiens de l'étude selon le type de leur alimentation



Sur la figure 59, on observe que la majorité des rations sont choisies et élaborées par le propriétaire lui-même (31,6 %) ou par le vétérinaire traitant (26,5 %). Les propriétaires font généralement appel au bouche à oreille, aux réseaux sociaux, ou aux différents sites Internet pour choisir l'alimentation de leur chien. Ils se tournent principalement vers un aliment industriel (58,1 %) ou une ration fraîche (32,2), et dans une moindre mesure vers une ration mixte (9,7 %). D'ailleurs, 52,6 % des rations fraîches et 50 % des rations mixtes sont élaborées par le propriétaires, ce qui traduit une volonté forte de maîtriser la composition de l'aliment distribué au chien.

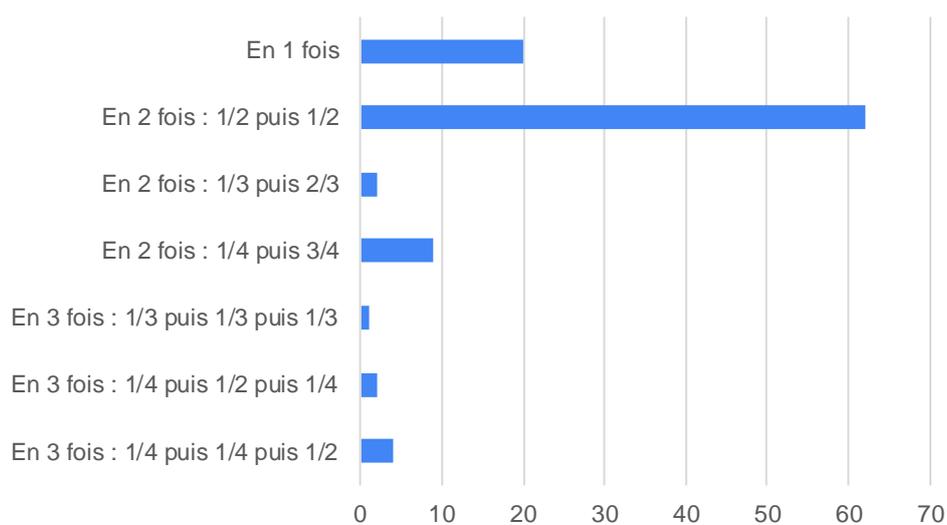
On remarque que 96,2 % des vétérinaires traitants conseillent un aliment industriel, et 3,8 % conseillent une ration mixte, tandis que les vétérinaires nutritionnistes conseillent à part égale un aliment industriel ou une ration fraîche. L'absence d'élaboration de rations fraîches par le vétérinaire traitant peut s'expliquer par un manque de formation dans ce domaine

Figure 59 : Répartition, en nombre, des types de personnes ayant conseillé le mode d'alimentation et/ou élaboré la ration



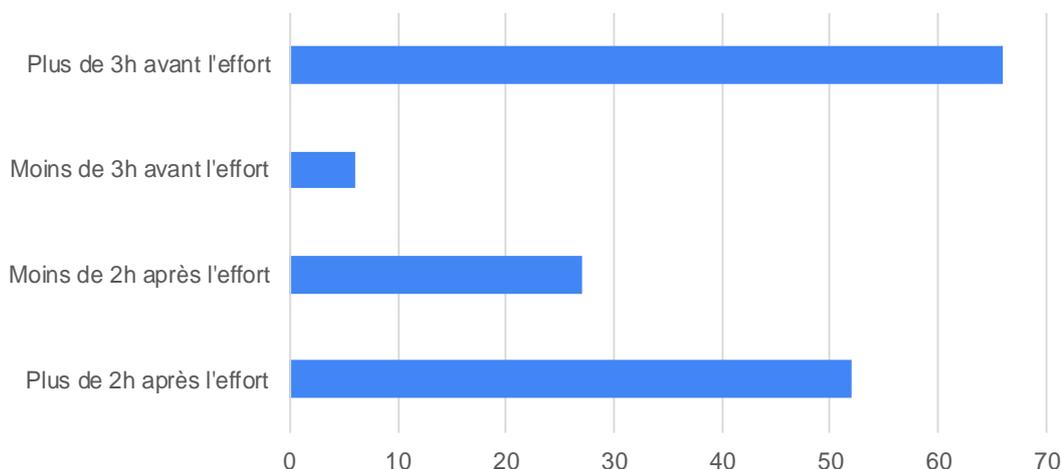
Sur la figure 60, on observe que la majorité des chiens (74,5 %) reçoivent leur ration en deux repas les jours d'effort. Plus particulièrement, 63,3 % des chiens de l'étude reçoivent la moitié de leur ration à chaque repas. Aussi, une part importante des chiens (20,4 %) est nourrie une seule fois, tandis que 7,1 % des chiens sont nourris en trois repas les jours d'effort.

Figure 60 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le fractionnement de la ration quotidienne les jours d'effort



Sur la figure 61, on observe que la majorité des répondants distribuent un repas plus de trois heures avant un effort (67,3 %) et/ou plus de deux heures après un effort (53,1 %). De nombreux chiens (27,6 %) reçoivent un repas dans les deux heures qui suivent un effort. Cependant, une minorité de répondants (6,1 %) distribuent un repas dans les trois heures précédant un effort. En effet, les propriétaires de chiens sont généralement informés des risques de dilatation et de torsion d'estomac et sont attentifs aux recommandations de distribution des repas.

Figure 61 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon le moment du ou des repas par rapport à l'effort



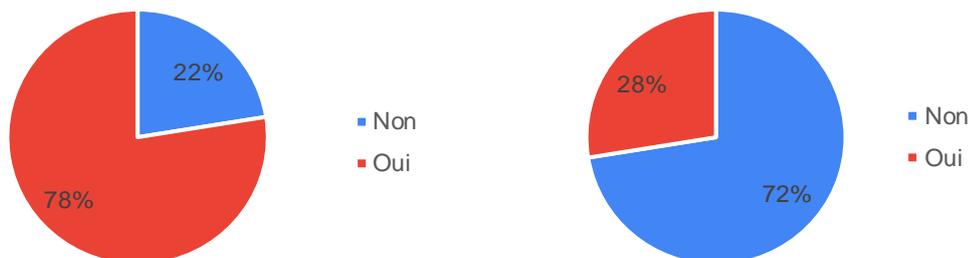
Sur la figure 62, on observe que la majorité des chiens (65 %) se précipitent sur leur gamelle et la terminent en moins de cinq minutes. 26 % des chiens mettent moins de 30 minutes pour finir leur gamelle. Enfin, 9 % des chiens sont beaucoup plus lents et mangent leur gamelle en plusieurs heures. Cela peut représenter un inconvénient pour la pratique d'une activité sportive, car cela favorise l'encombrement digestif.

Figure 62 : Répartition des chiens de l'étude selon la rapidité d'ingestion de l'aliment



Sur la figure 63, on observe que 78 % des chiens semblent rassasiés après un repas, tandis que 22 % semblent avoir encore faim. De plus, 28 % des chiens réclament entre les repas. Ainsi, 6 % des chiens semblent rassasiés après un repas mais réclament durant la journée. Cela peut être lié à des repas trop espacés ou des volumes trop faibles, ce qui peut engendrer une réelle sensation de faim, mais cela peut aussi être l'expression d'une demande d'attention.

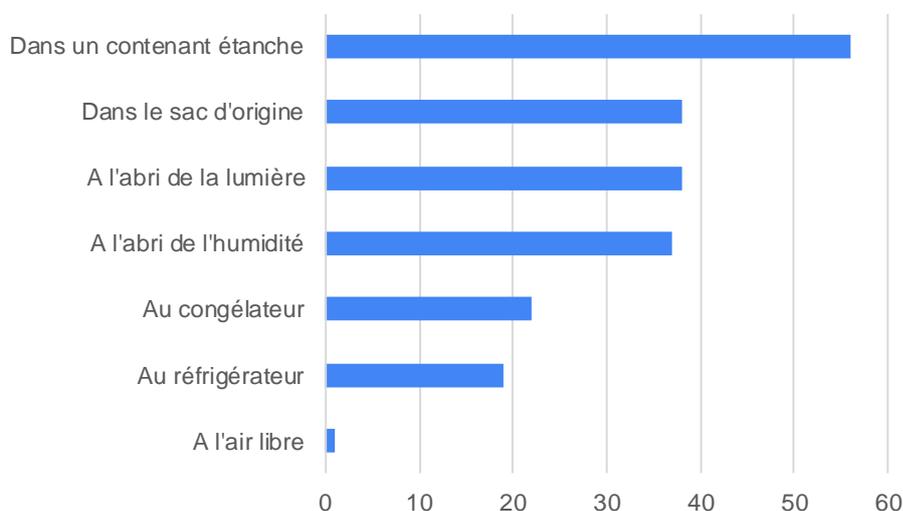
Figure 63 : Répartition des chiens de l'étude selon qu'ils semblent rassasiés ou non (à gauche) et qu'ils réclament entre les repas ou non (à droite)



D'après la figure 64, on observe que la majorité des répondants conservent les aliments dans des conditions satisfaisantes : dans un contenant étanche (57,1 %), à l'abri de la lumière (38,8 %), et à l'abri de l'humidité (37,8 %). 38,8 % des répondants conservent l'aliment dans le sac d'origine. Ce procédé peut convenir à condition que le sac soit correctement fermé (avec une fermeture zip par exemple). La conservation au congélateur et au réfrigérateur ne représentent que 22,4 % et 19,4 % des répondants respectivement, mais ces modes de conservation concernent majoritairement les aliments frais. Ainsi, parmi les 25 participants qui nourrissent leur chien avec une ration fraîche ou une ration mixte, 24 conservent les aliments au réfrigérateur et/ou

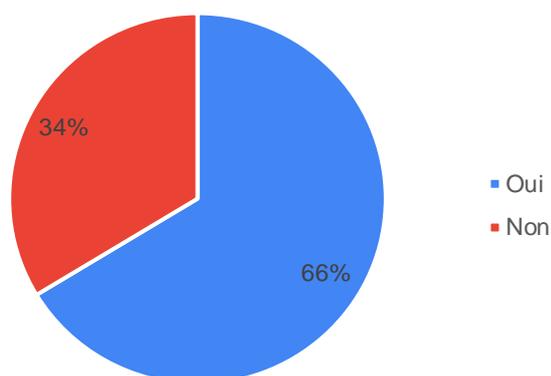
au congélateur. Enfin, un répondant conserve les croquettes à l'air libre, ce qui n'est pas idéal pour la préservation de la qualité des lipides et pour l'appétence de l'aliment.

Figure 64 : Répartition, en nombre, des modalités de conservation des aliments par les propriétaires



Sur la figure 65, on observe que 66 % des répondants modifient qualitativement et/ou quantitativement la ration de leur chien en fonction de la charge d'activité.

Figure 65 : Répartition des répondants selon qu'ils modifient ou non la ration de leur en fonction de la charge d'activité

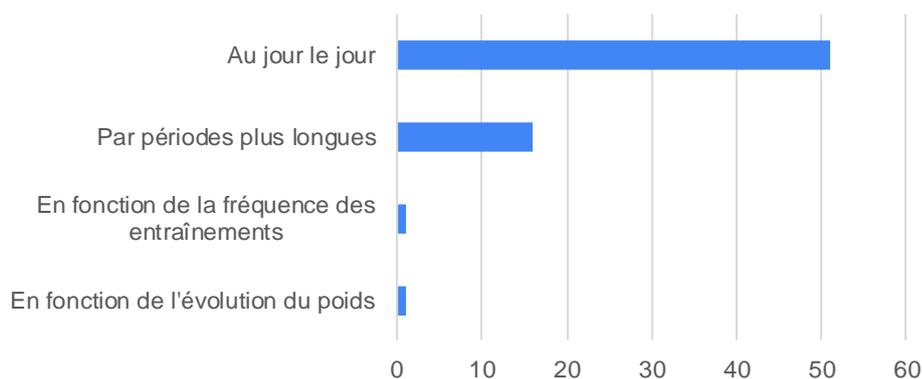


D'après la figure 66, on remarque que 51 répondants modifient la ration au jour le jour en fonction de l'activité quotidienne du chien (jour d'entraînement, de récupération, de compétition). 16 répondants la modifient par phases plus longues, selon la charge d'activité de la période, avec par exemple une ration de repos l'été. Cinq répondants utilisent ces deux méthodes à la fois. Aussi, il existait une réponse « autre » ouverte pour les répondants qui fonctionnent différemment

que les réponses proposées. Deux répondants utilisent un autre procédé d'adaptation de la ration : l'un observe l'évolution de l'état corporel de son chien et adapte la ration s'il varie, et l'autre adapte la ration lorsque les entraînements sont plus rapprochés.

De plus, quelques répondants ont précisé leur manière d'adaptation de la ration. Il en ressort que les propriétaires la modifient quantitativement (augmentation de la quantité de croquettes ou des aliments frais) mais aussi qualitativement (modification de la recette de la ration, ajout de viandes plus ou moins grasses).

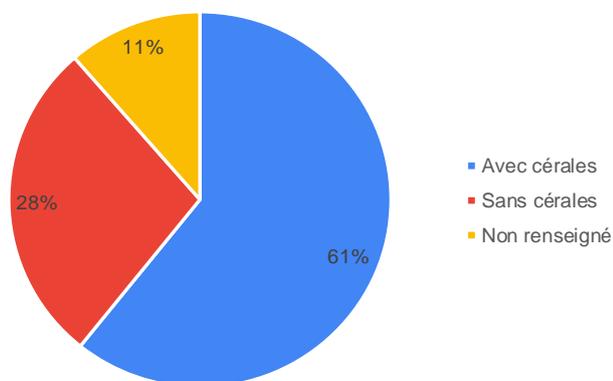
Figure 66 : Répartition, en nombre, des chiens de l'étude selon les modalités d'adaptation de leur ration à leur charge d'activité



b. Aliments industriels utilisés

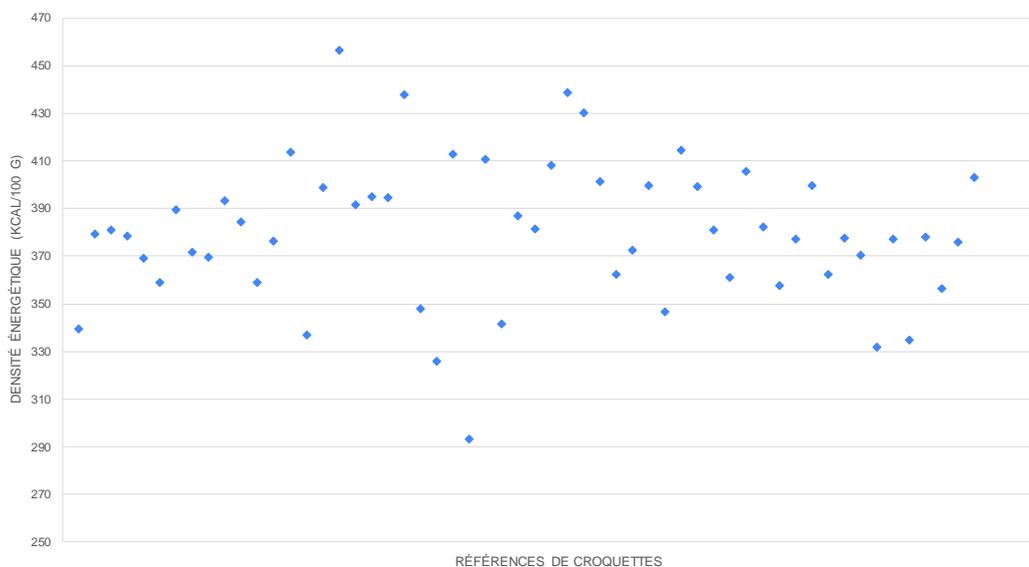
Parmi les 79 répondants qui donnent un aliment industriel à leur chien (en aliment unique ou en ration mixte), la totalité utilise des croquettes. Deux répondants utilisent des boîtes de pâtée, en complément des croquettes. Sur la figure 67, on observe que 61 % des croquettes utilisées contiennent des céréales, en quantité variable, tandis que 28 % des croquettes utilisées sont sans céréales. On remarque que 11 % des croquettes utilisées n'ont pas pu être étudiées, du fait d'une réponse manquante ou imprécise. Par exemple, certains répondants ont uniquement cité la marque de l'aliment.

Figure 67 : Répartition des croquettes utilisées par les répondants en fonction de leur teneur en céréales



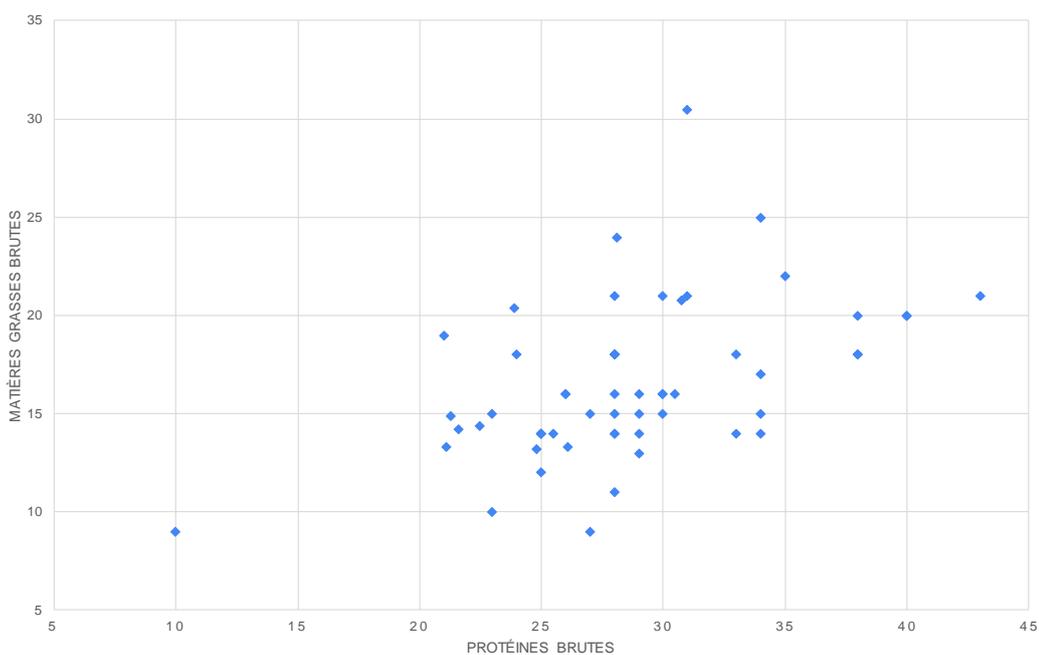
Parmi les 70 réponses exploitables, 56 références de croquettes différentes ont été mentionnées. La composition de chaque référence a été étudiée. Sur la figure 68, On observe que le nuage de points est très dispersé verticalement, ce qui signifie que la densité énergétique des croquettes utilisées (calculée d'après la formule NRC 2006) est très variable. Elle s'étend de 293,4 à 456,9 kcal d'EM pour 100 g d'aliment, et la densité énergétique moyenne est de 380,2 kcal d'EM pour 100 g d'aliment.

Figure 68 : Répartition des croquettes utilisées par les répondants en fonction de leur densité énergétique (en kcal d'EM pour 100 g d'aliment selon la formule NRC 2006)



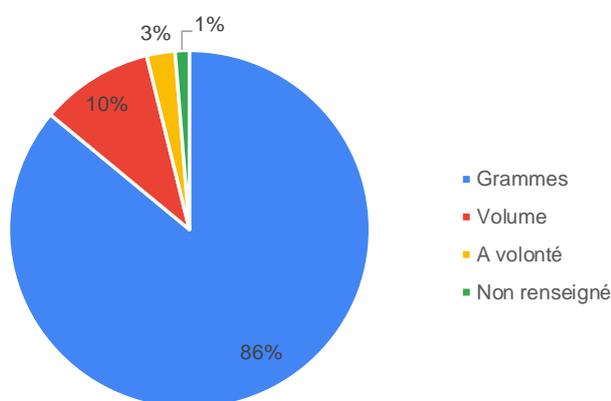
Sur la figure 69, les références de croquettes sont réparties selon leur teneur en protéines brutes (en abscisse) et en matières grasses brutes (en ordonnée). On observe que le nuage de points est très dispersé, ce qui signifie que les teneurs protéiques et lipidiques des croquettes sont très variables. On remarque que 49 références sur les 56 étudiées, soit 87,5 %, contiennent 20 à 35 % de protéines brutes, et 10 à 25 % de matières grasses brutes.

Figure 69 : Répartition des croquettes utilisées par les répondants en fonction de leur teneur en protéines et en matières grasses, exprimées en pourcentage de matière brute



Sur la figure 70, on observe que parmi les 79 répondants utilisant des croquettes, 96 % mesurent la quantité de croquettes distribuées chaque jour. Plus particulièrement, 86 % des répondants expriment la quantité distribuée en grammes. Cela suppose qu'ils pèsent la ration à chaque repas, ou bien qu'ils utilisent un gobelet gradué. 10 % des répondants expriment la quantité distribuée en volume, en nombre de verres ou au niveau de remplissage de la gamelle par exemple. A l'opposé, 3 % des répondants proposent les croquettes à volonté. Cette méthode n'est pas idéale car elle favorise l'encombrement digestif. Enfin, un participant n'a pas précisé sa réponse.

Figure 70 : Répartition des répondants selon leur méthode de mesure de la quantité de croquettes



c. Aliments frais utilisés

Dix-neuf répondants distribuent une ration fraîche à leur chien, tandis que six répondants distribuent une ration mixte. Il était demandé à ces 25 répondants de détailler les aliments utilisés et leurs quantités. Les réponses obtenues étaient pour la plupart imprécises, voire incomplètes, ce qui ne permet pas d'étudier la densité énergétique ni la composition nutritionnelle de ces rations. Cependant, les informations recueillies ont été exploitées. Les tableaux 17 et 18 répertorient les aliments frais utilisés par les répondants distribuant une ration mixte ou fraîche, respectivement. Les compléments alimentaires utilisés dans ces rations par les répondants seront abordés dans une prochaine partie.

D'après le tableau 17, on remarque que la majorité des répondants fournissant une ration mixte à leur chien ajoutent de la viande (principalement du poulet). Cela est probablement lié à la volonté d'augmenter la teneur en protéines de la ration.

Tableau 17 : Aliments frais utilisés par les répondants fournissant une ration mixte à leur chien

Type d'aliments	Nombre de répondants	Aliments cités
Viandes	6	Poulet (en carcasse, en filet ou broyé avec des os et du gras), dinde, bœuf
Poissons	1	-
Abats	1	Foie
Légumes	1	-

D'après le tableau 18, on remarque que la quasi-totalité des répondants fournissant une ration fraîche à leur chien proposent de la viande (un répondant n'a pas du tout précisé le contenu de la ration). De nombreux répondants proposent également du poisson, des os charnus et des abats. Moins de la moitié des répondants utilisent des légumes, des féculents et des huiles végétales.

Tableau 18 : Aliments frais utilisés par les répondants fournissant une ration ménagère ou une autre ration fraîche à leur chien

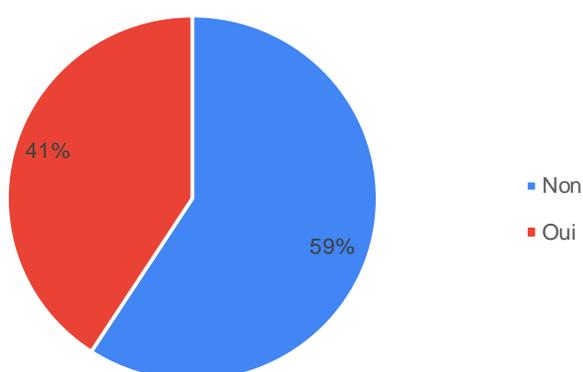
Type d'aliments	Nombre de répondants	Aliments cités
Viandes	18	Poulet, dinde, bœuf, porc, canard, lapin, agneau, caille, autruche, kangourou, cerf
Poissons	9	Harengs, sardines
Abats	10	Foie, panse, cœur
Légumes	5	Haricots verts, brocolis, carottes
Féculents	4	Riz, avoine, millet
Huile	4	Colza ou autres huiles végétales
Os	11	Os charnus
Autres	2	Moules

E. La supplémentation

a. Compléments alimentaires

D'après la figure 71, on remarque que 41 % des répondants donnent régulièrement des compléments alimentaires à leur chien.

Figure 71 : Répartition des répondants selon qu'ils ajoutent ou non des compléments alimentaires à la ration de leur chien



Sur les 40 répondants fournissant des compléments alimentaires à leur chien, 38 ont précisé le produit utilisé. D'après le tableau 19, 20 répondants apportent des acides gras essentiels à leur chien, sous la forme d'huiles ou en gélules. Parmi eux, la majorité des produits

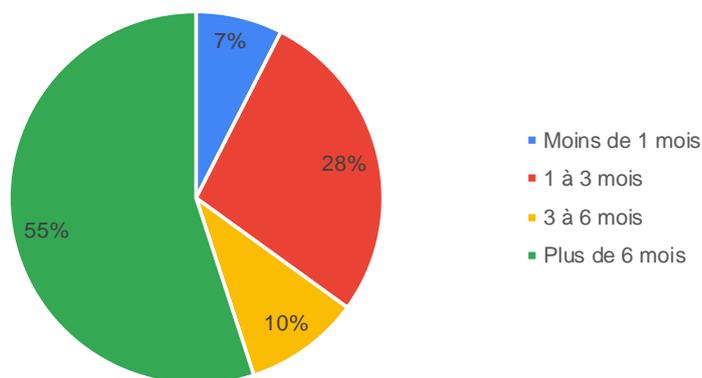
utilisés sont riches en oméga-3, mais assez peu en omega-6. L'objectif de ces répondants est donc l'apport d'oméga-3, mais aussi de lipides totaux. Huit répondants apportent des chondroprotecteurs, sous la forme de mélanges de molécules, ou sous la forme de poudre de moule verte. Cinq répondants apportent des compléments minéraux et vitaminiques (CMV) à la ration de leur chien. D'ailleurs, ces cinq répondants fournissent une ration fraîche ou mixte à leur chien. Ainsi, seulement 20 % des chiens nourris avec une ration fraîche ou mixte reçoivent des CMV. De nombreux répondants apportent des compléments de vitamines et d'oligo-éléments à leur chien, sous la forme de mélanges (huit répondants) ou sous la forme de poudre d'algues (7 répondants). Enfin, deux répondants apportent du curcuma dans la ration de leur chien, pour ses propriétés antioxydantes.

Tableau 19 : Répartition des compléments alimentaires utilisés par les répondants pour leur chien

Type de compléments	Nombre de répondants	Aliments cités
Acides gras essentiels	20	1-TDC, huile de poissons/foie de morue/saumon, krill, huile de chanvre
Antioxydants	2	Pâte de curcuma
Soutien articulaire et chondroprotecteurs	8	Moule verte, Flexi-K9, Becando Agil Tabs, Element Vet Articulation Renforcée, Flexadin, Locox, Hyaloral
CMV	5	Multibarf, Sofcanis, Viti5, Kyli poudre de Vimin
Autres mélanges de vitamines et minéraux	8	Biobalg Canitonic, Tonivit, Miloa Energy Sup, levure de bière
Algues	7	Ascopet, spiruline, kelp
Minéraux	2	Calcium, fer (Blood Powder)
Soutien musculaire	1	Nutrivet Power Dog

Sur la figure 72, on observe que la majorité des répondants (55 %) utilisent des compléments alimentaires pendant plus de la moitié de l'année. Il est alors possible d'imaginer qu'ils les utilisent toute l'année, sans distinction de saison ou de période. 10 % des répondants les utilisent trois à six mois dans l'année, 28 % des répondants les utilisent un à trois mois dans l'année, et 7 % des répondants les utilisent très ponctuellement, moins d'un mois dans l'année.

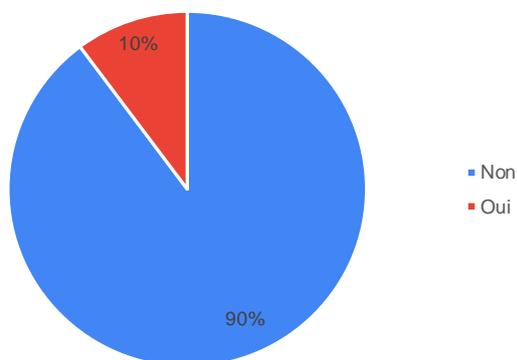
Figure 72 : Répartition des répondants selon la durée d'utilisation des compléments alimentaires dans la ration de leur chien



b. Snack de charge

Sur la figure 73, on observe que 10 % des répondants utilisent un snack de charge pour leur chien avant un effort.

Figure 73 : Répartition des répondants selon qu'ils utilisent ou non un snack de charge pour leur chien avant un effort



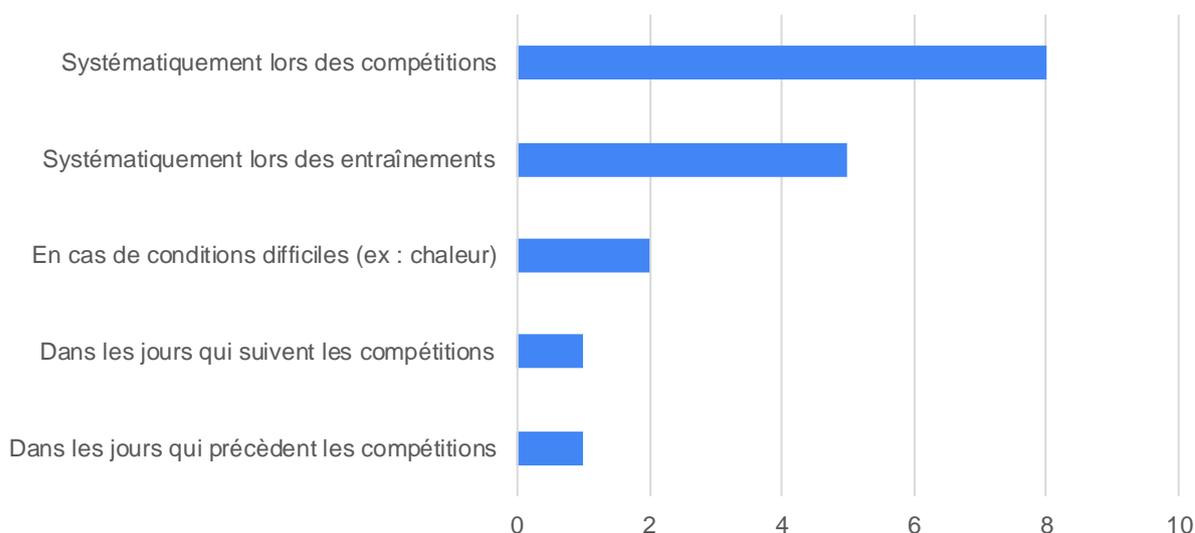
Sur les dix répondants fournissant un snack de charge avant un effort à leur chien, sept ont précisé le produit utilisé. D'après le tableau 20, la majorité (cinq répondants) utilise un produit à base de matières grasses. Les produits cités sont par exemple à base de graisse de mouton, de krill, de saindoux, ou de matières grasses végétales. Deux répondants utilisent un snack de charge sous la forme d'une solution d'hydratation qui contient une part importante de lipides.

Tableau 20 : Répartition des snacks de charge utilisés par les répondants pour leur chien

Type de compléments	Nombre de répondants	Aliments cités
Produits d'hydratation	2	Fastdog Hydratation Power
Matières grasses	5	Icepaw Power Nuggets, Greenheart Qrill Power Bites, Kronch Pemmikan, huile de coco, beurre d'amandes

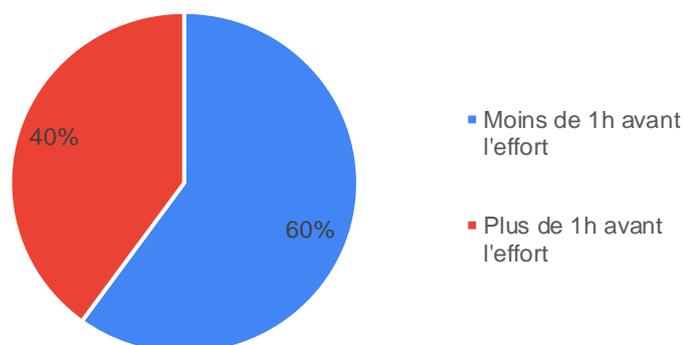
Sur la figure 74, on remarque que la majorité des répondants utilisent un snack de charge systématiquement lors des compétitions (huit répondants), et certains systématiquement lors des entraînements (cinq répondants). Quelques répondants l'utilisent en cas de conditions difficiles (deux répondants) et dans les jours qui précèdent ou qui suivent les compétitions (un répondant).

Figure 74 : Répartition, en nombre, des conditions d'utilisation du snack de charge que les répondants donnent à leur chien



Sur la figure 75, on observe que 60 % des répondants distribuent le snack de charge dans l'heure qui précède l'effort, tandis que 40 % des répondants le distribuent plus d'une heure avant.

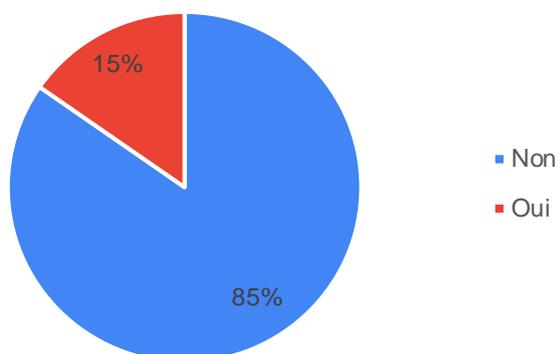
Figure 75 : Répartition des répondants selon le moment où ils distribuent le snack de charge à leur chien par rapport à l'effort



c. Snack de récupération

Sur la figure 76, on observe que 15 % des répondants utilisent un snack de récupération pour leur chien après un effort.

Figure 76 : Répartition des répondants selon qu'ils utilisent ou non un snack de récupération après un effort



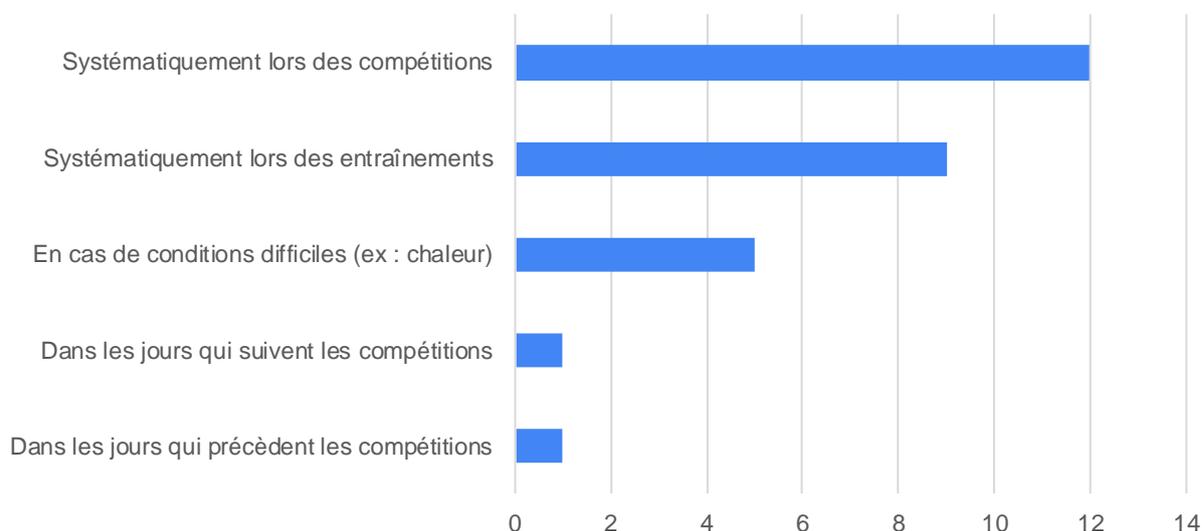
Sur les 15 répondants fournissant un snack de récupération après un effort à leur chien, 14 ont précisé le produit utilisé. D'après le tableau 21, qui répertorie les produits utilisés, on remarque que les produits les plus utilisés sont à visée de soutien musculaire (six répondants) avec une composition à base d'acides aminés et de maltodextrine. Quelques répondants utilisent une préparation maison à base de riz et de miel (quatre répondants) qui apporte des glucides pour régénérer les stocks musculaires. D'autres répondants (quatre répondants) utilisent des produits riches en matières grasses, à base de graisse de mouton, de krill ou de saindoux par exemple.

Tableau 21 : Répartition des snacks de récupération utilisés par les répondants pour leur chien

Type de compléments	Nombre de répondants	Aliments cités
Préparation maison	4	Mélange riz/miel
Soutien musculaire	6	Fastdog Performance Shake, Mamut Recovery Drink, Sport European Pet Pharmacy
Matières grasses	4	Kronch Pemmikan, Icepaw Power Nuggets, Fastdog Power Bonbons
Homéopathie	1	Traumasedyl
Friandises classiques	1	Specific Hypoallergenic treats

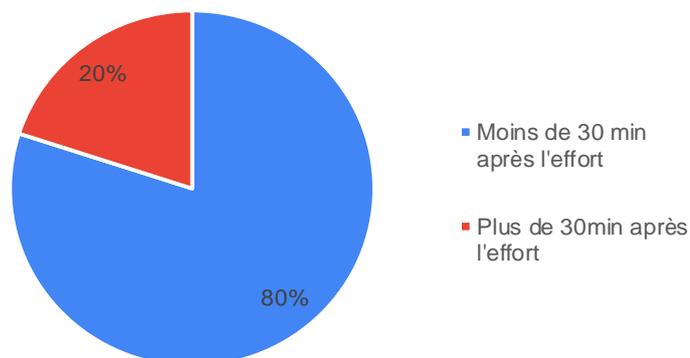
Sur la figure 77, on remarque que la majorité des répondants utilisent un snack de récupération systématiquement lors des compétitions (douze répondants), et/ou systématiquement lors des entraînements (neuf répondants). Quelques répondants l'utilisent en cas de conditions difficiles (5 répondants) et peu de répondants l'utilisent dans les jours qui précèdent ou qui suivent les compétitions (un répondant).

Figure 77 : Répartition, en nombre, des conditions d'utilisation du snack de récupération que les répondants donnent à leur chien



Sur la figure 78, on observe que 80 % des répondants distribuent le snack de récupération dans la demi-heure qui suit l'effort, tandis que 20 % des répondants le distribuent plus de 30 minutes après.

Figure 78 : Répartition des répondants selon le moment où ils distribuent le snack de récupération à leur chien par rapport à l'effort

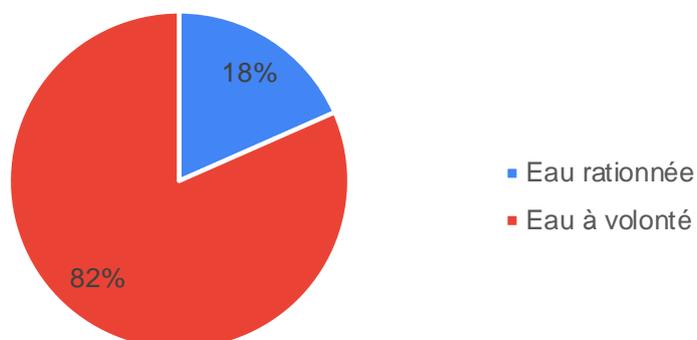


F. L'hydratation

a. L'eau

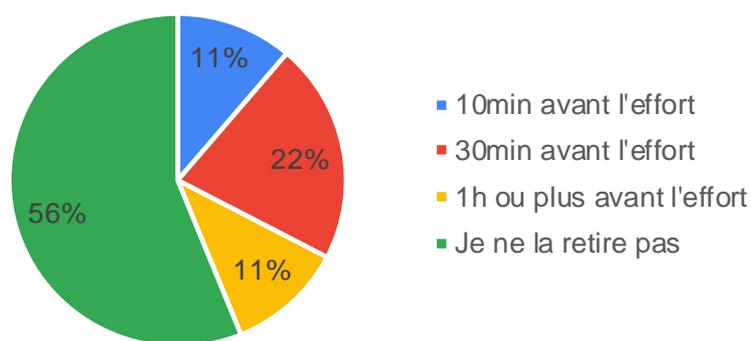
Concernant les modalités d'hydratation, la figure 79 montre que la plupart des propriétaires (82 %) proposent l'eau à volonté à leur chien les jours d'effort, tandis que 18 % la rationnent.

Figure 79 : Répartition des répondants selon leurs modalités de distribution de l'eau les jours d'effort



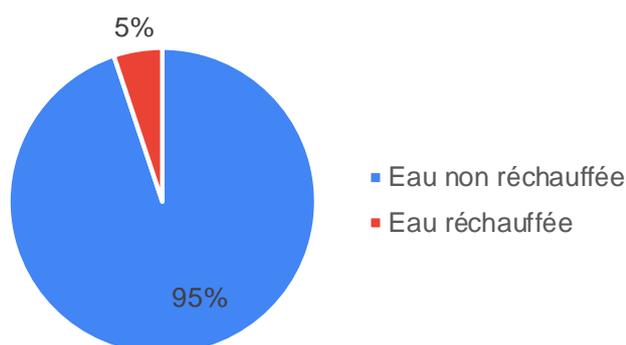
De plus, sur la figure 80, on observe que la majorité des répondants (56 %) ne retirent pas l'eau à leur chien avant un effort. 10 % des répondants la retirent 10 minutes avant l'effort, 22 % la retirent 30 min avant l'effort, et 11 % la retirent une heure ou plus avant l'effort.

Figure 80 : Répartition des répondants selon le délai entre le retrait de l'eau et l'effort



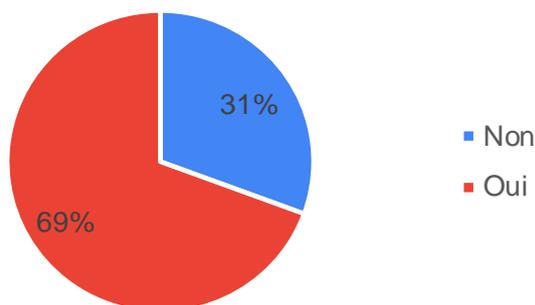
La figure 81 montre que la grande majorité des répondants (95 %) ne réchauffent pas l'eau qu'ils proposent à leur chien, tandis que 5 % la réchauffent.

Figure 81 : Répartition des répondants selon qu'ils réchauffent ou non l'eau proposée



Enfin, d'après la figure 82, on observe que 69 % des répondants proposent de l'eau au chien pendant l'effort, tandis que 31 % ne leur proposent pas d'eau durant l'effort peu importe la durée de celui-ci.

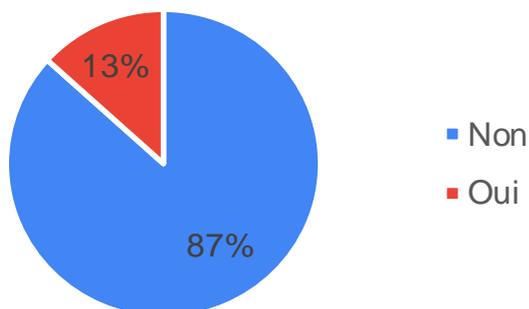
Figure 82 : Répartition des répondants selon qu'ils proposent ou non une réhydratation pendant l'effort



b. Solution électrolytique

On observe sur la figure 83 que 13 % des répondants proposent une solution électrolytique ou une source d'hydratation supplémentaire à leur chien.

Figure 83 : Répartition des répondants selon qu'ils utilisent ou non une solution électrolytique ou une autre source d'hydratation pour leur chien



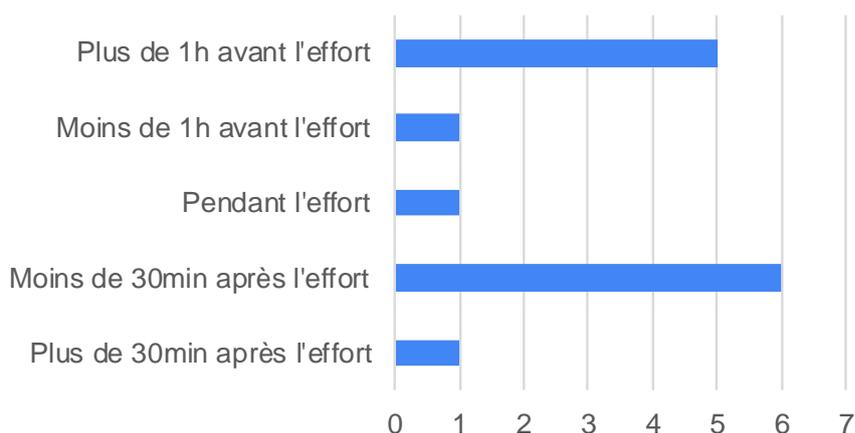
Parmi ces 13 répondants, 12 en ont précisé les modalités d'utilisation (produits utilisés, fréquence et moment d'administration). Le tableau 22 montre que la plupart des répondants utilisent des produits adaptés au chien. On trouve majoritairement des solutions de réhydratation électrolytiques principalement à base de sodium, chlore, magnésium et potassium (sept répondants), mais également des produits de soutien énergétique à base de créatine, carbohydrates, matières grasses et acides aminés par exemple (trois répondants). Deux répondants proposent des produits qui ne sont pas adaptés aux chiens : un produit de réhydratation destiné aux veaux, et un mélange d'eau, de sucre et de sel. Aucun des répondants ne réchauffe la solution de réhydratation proposée.

Tableau 22 : Répartition des produits de réhydratation utilisés par les répondants pour leur chien

Type de compléments	Nombre de répondants	Aliments cités
Soutien énergétique destiné au chien	3	Kvap Nutrition Pré et Post Workout, Fitdog Energy+Rehydrate, Mamut Pre-Run Drink, Flying Dog After Drink
Solution électrolytique destinée au chien	7	Element Vet Réhydratation, Fastdog Hydratation Power, European Pet Pharmacy Réhydratation, Rekor Canilyte
Solution électrolytique non destinée au chien	1	Efferhydran
Préparation maison	1	Mélange eau + sel (1 g/L) + sucre (60 g/L)

Sur la figure 84, on observe que la plupart des répondants (six répondants) proposent la solution de réhydratation à leur chien dans les 30 minutes après l'effort. Une proportion importante des répondants (cinq répondants) la proposent plus d'une heure avant l'effort. Deux répondants proposent une solution de réhydratation à la fois plus d'une heure avant et moins de 30 minutes après l'effort. Un des répondants la propose durant l'effort.

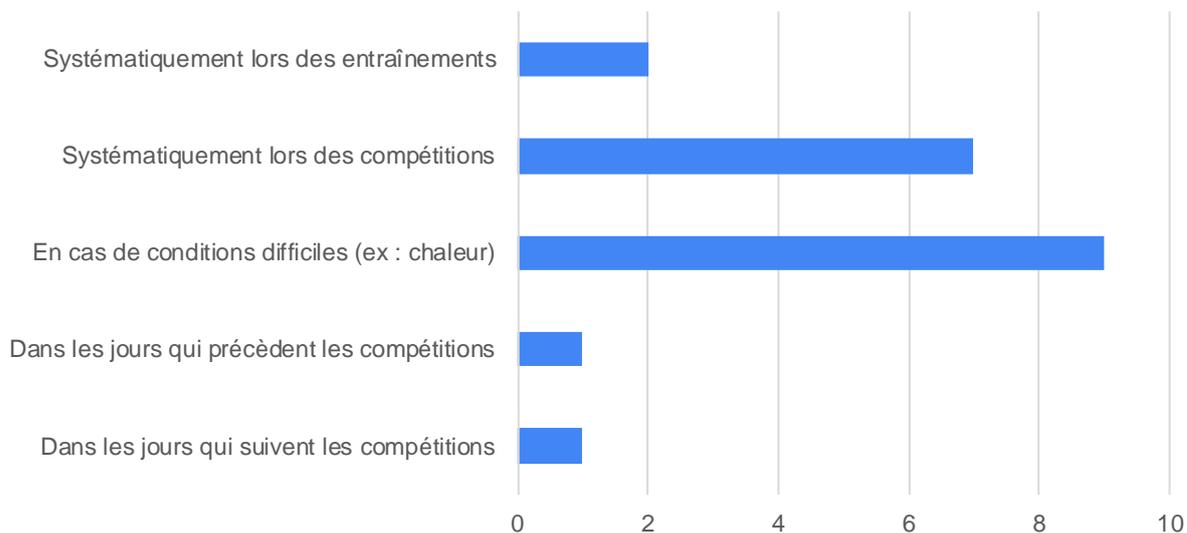
Figure 84 : Répartition, en nombre, des répondants selon le moment où ils distribuent la solution de réhydratation à leur chien par rapport à l'effort



Sur la figure 85, on observe que la plupart des répondants (neuf répondants) proposent une solution de réhydratation en cas de conditions particulièrement difficiles (chaleur par exemple), et de nombreux propriétaires (sept répondants) en proposent systématiquement lors des compétitions, contre deux répondants qui en proposent systématiquement lors des entraînements.

De plus, un répondant en propose les quelques jours qui précèdent et les jours qui suivent les compétitions.

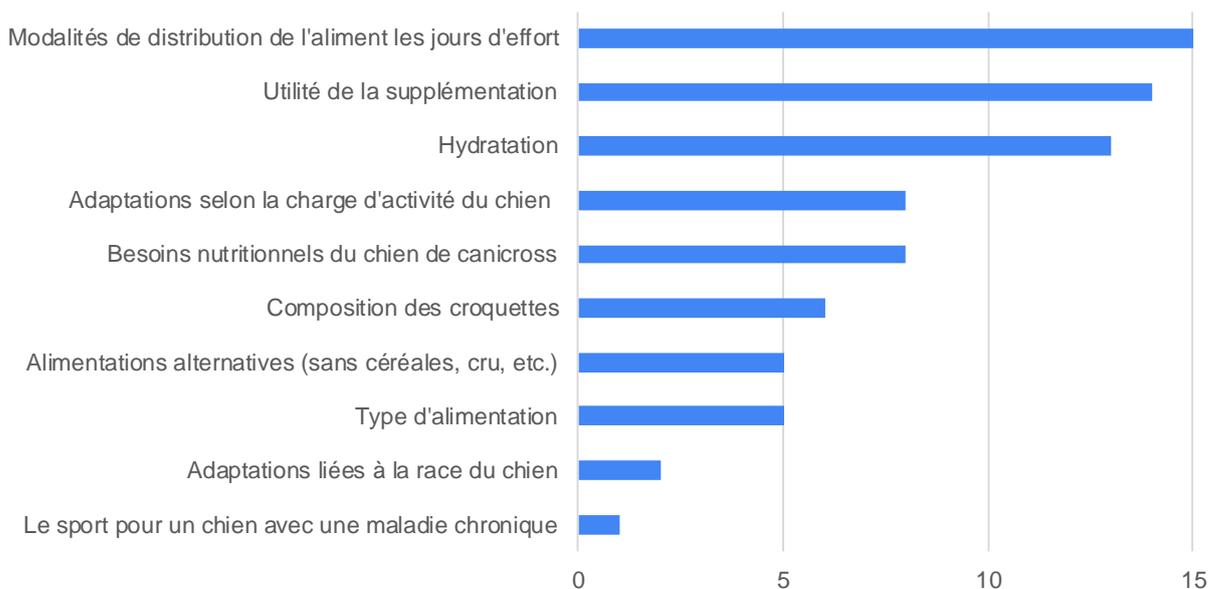
Figure 85 : Répartition, en nombre, des conditions d'utilisation de la solution électrolytique que les répondants donnent à leur chien



G. Fiches d'informations

Les répondants avaient la possibilité d'indiquer les sujets qu'ils souhaitent que les fiches informatives abordent. Le taux de réponse est de 48 %. Les diverses réponses peuvent être synthétisées ainsi (voir figure 86) :

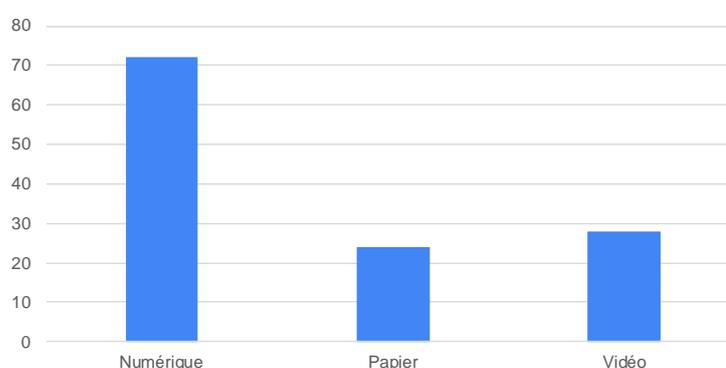
Figure 86 : Répartition, en nombre, des sujets des fiches d'informations souhaités par les répondants



Ces résultats montrent qu'une grande partie des répondants (32 %) souhaitent être informés sur les modalités de distribution de l'aliment les jours d'effort. En effet, le risque de dilatation et de torsion de l'estomac est bien connu des propriétaires et représente pour eux une préoccupation majeure. L'utilité de la supplémentation est un sujet qui intéresse également la majorité des répondants (30 %) ainsi que les modalités d'hydratation pré, per et post-effort (28 %). De nombreuses réponses évoquaient aussi la qualité des croquettes et les autres alternatives d'alimentation (ration crue, BARF, ration ménagère, croquettes sans céréales, etc.) ce qui suggère que les propriétaires souhaitent connaître et maîtriser ce que mangent leurs chiens.

Afin de répondre au mieux aux attentes des propriétaires, il leur était possible d'indiquer le support qui leur paraissait le plus approprié pour des fiches conseils. Le taux de réponse est de 86 %. On observe sur la figure 87 que le support numérique est le plus pertinent pour la majorité des répondants (86 % des réponses) ce qui est cohérent avec la grande place de l'informatique aujourd'hui, qui permet un partage rapide et facile des données.

Figure 87 : Répartition, en nombre, des supports des fiches d'informations souhaités par les répondants



4. Discussion

A. Critiques du questionnaire

Le nombre de réponses reçues n'est pas satisfaisant malgré la diffusion par les réseaux sociaux qui sont très utilisés par les pratiquants de canicross. Un nombre plus important de réponses aurait permis d'obtenir des résultats plus précis pour l'étude. Afin d'obtenir plus de réponses, il aurait été possible d'envoyer le questionnaire par mail aux clubs de canicross afin qu'ils le diffusent à leurs adhérents, mais l'étude aurait été alors biaisée par le nombre important de pratiquants en clubs par rapports aux pratiquants qui ne sont pas adhérents d'un club.

De plus, certaines réponses n'ont pas pu être complètement exploitées. Par exemple, il était demandé aux répondants d'envoyer par mail des photographies de leur chien dans le but de comparer leur NEC réelle avec celle attribuée par les propriétaires, afin de connaître la capacité des propriétaires à évaluer l'état corporel de leur chien. Mais trop peu de répondants ont suivi cette consigne ce qui a empêché l'analyse complète de ce paramètre. Ainsi, il n'est pas possible de savoir si les répondants qui ont attribué une NEC de 1 ou 2/9 à leur chien ont commis une erreur

d'estimation, ou si leur chien est réellement maigre. Il en est de même pour les chiens dont les propriétaires leur ont attribué un indice de masse musculaire de C ou D.

Aussi, le fait que certaines questions soient ouvertes a donné lieu à des réponses souvent incomplètes ou absentes. Par exemple, la plupart des réponses concernant la composition des rations fraîches ou mixtes ne comportaient pas les quantités des aliments utilisés, ce qui n'a permis qu'une étude partielle de ces données.

Pour pallier ces problèmes, il aurait été possible d'effectuer une phase de test du questionnaire auprès d'un petit panel de répondants afin de le perfectionner en fonction de leurs remarques.

B. Pertinence des fiches explicatives

Il a été mis en évidence que 31,6 % des répondants choisissent eux-mêmes l'alimentation de leur chien et élaborent eux-mêmes la ration. Il est alors indispensable qu'ils aient à leur disposition des informations claires et scientifiques. En effet, le bouche à oreille ou les réseaux sociaux peuvent être à l'origine de la circulation de mauvaises informations.

Les propriétaires de chiens sont généralement informés des risques de dilatation et de torsion d'estomac et sont attentifs aux recommandations de distribution des repas. Cependant il existe encore quelques propriétaires distribuant un repas moins de trois heures avant un effort (6,1 %). Il est donc important d'informer le plus de propriétaires possible des recommandations en termes de distribution des repas les jours d'effort.

Aussi, l'utilisation des suppléments nutritionnels est très diversifiée parmi les répondants. 80 % des rations fraîches et mixtes proposées par les répondants de l'étude ne contiennent pas de CMV, ce qui ne permet d'équilibrer l'apport en phosphore et en calcium dans la ration. De plus, 60 % des répondants qui donnent un snack de charge à leur chien le distribuent moins d'une heure avant l'effort, et 20 % des répondants qui donnent un snack de récupération à leur chien le donnent plus de 30 minutes après l'effort, ce qui ne correspond pas aux fenêtres d'assimilation optimale des nutriments. Il paraît donc intéressant d'informer les propriétaires sur l'utilisation des compléments alimentaires et des suppléments nutritionnels afin de les aider au mieux à améliorer la santé et les performances de leur chien.

Enfin, les modalités d'hydratation ne sont pas optimales pour tous les chiens de l'étude. Par exemple, 82 % des répondants proposent de l'eau à volonté les jours d'effort, et seulement 18 % la rationnent. De plus, 56 % des répondants ne retirent pas l'eau avant effort, tandis que 11 % la retirent plus d'une heure avant un effort. Enfin, quelques répondants proposent à leur chien des solutions de réhydratation qui ne sont pas adaptées à l'espèce canine. Il paraît donc pertinent de communiquer aux propriétaires les bonnes pratiques d'hydratation des chiens pour éviter la déshydratation liée à l'effort.

Ainsi, l'élaboration de fiches informatives semblent pertinentes pour aider les propriétaires de chiens pratiquant le canicross à mieux gérer l'alimentation et l'hydratation de leur chien. D'ailleurs, dans les questions ouvertes du questionnaire, quelques répondants ont spontanément évoqué le manque d'informations sur l'alimentation des chiens de canicross ce qui montre leur volonté d'être mieux renseignés sur ce sujet.

Troisième partie : élaboration des fiches informatives

1. Méthode d'élaboration des fiches informatives

Les réponses au questionnaire concernant les fiches d'informations montrent que les sujets les plus demandés par les répondants étaient :

- Les modalités de distribution de l'aliment les jours d'effort. En effet, le risque de dilatation et de torsion de l'estomac est bien connu des propriétaires et représente pour eux une préoccupation majeure.
- L'utilité de la supplémentation. En effet, quelques répondants pensent qu'ils sont inutiles, tandis que d'autres aimeraient être guidés pour savoir lesquels utiliser et comment les distribuer.
- Les modalités d'hydratation pré, per et post-effort.

Au vu du souhait des répondants, les fiches explicatives ont été réalisées au format PDF, à l'aide du logiciel Microsoft Publisher®. Ce format permet une bonne diffusion des documents par informatique, notamment sur les réseaux sociaux ou pour les clubs de canicross à leurs adhérents.

2. Fiches informatives

L'hydratation du chien de canicross

Pertes hydriques

L'eau est un élément majeur de la thermorégulation. Le chien lutte contre l'hyperthermie principalement par la polypnée thermique qui correspond à une augmentation de la fréquence respiratoire. Ce mode ventilatoire provoque une évaporation d'eau importante. Les pertes salivaires sont également à prendre en compte lors des moments de stress et d'excitation. Une déshydratation est donc souvent observée lors d'une activité sportive, ce qui peut altérer les performances et augmenter le risque de coup de chaleur.

Modalités de distribution

Un chien doit avoir un accès permanent à de l'eau propre. Cependant, avant un effort, l'eau ne doit pas être proposée à volonté afin de prévenir les troubles comportementaux en situation de stress. Dans ce cas, il est recommandé de fractionner l'apport en eau dans les heures et les minutes qui précèdent l'effort (voir figure ci-dessous).

Lorsque l'activité physique dure plus de 20 minutes, il est nécessaire de continuer l'hydratation durant l'effort.

Enfin, la réhydratation peut débuter dès la fin de l'effort. Il est préférable de distribuer l'eau fréquemment mais en petites quantités dans les deux heures qui suivent l'exercice.

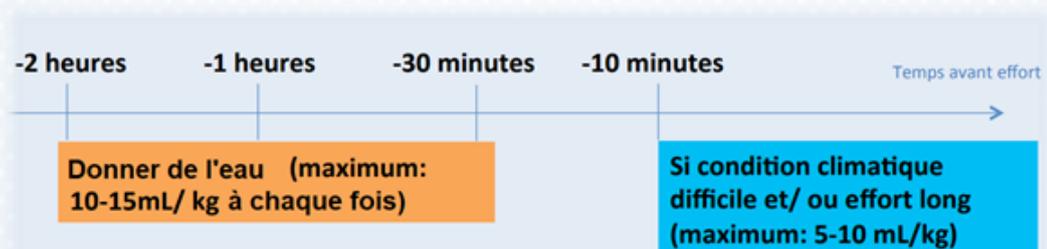


Les solutions électrolytiques

Les minéraux de la famille des électrolytes sont moins essentiels chez le chien que chez d'autres espèces comme l'humain ou le cheval. En effet, ne transpirant pas, les suppléments ne sont pas forcément justifiés.

Le chlorure de sodium doit être apporté avec parcimonie car les déficits de ces minéraux sont rares chez le chien. Ainsi, l'apport excessif de sel est à proscrire car il peut provoquer une déshydratation.

En revanche, pour prévenir et corriger les conséquences de la déshydratation, un apport de soluté électrolytique en concentration hypotonique à isotonique peut être préconisé avant et après l'effort. Les solutions électrolytiques destinées au cheval ne sont pas indiquées car elles peuvent provoquer des diarrhées.



Quand distribuer le repas ?

Fractionnement de la ration

Il est conseillé de fractionner au maximum les repas du chien de sport. Idéalement, l'aliment doit être distribué en deux à trois repas par jour. Mais selon l'appétit ou les habitudes du propriétaire, un chien peut aussi très bien être nourri une seule fois par jour.

Avant un effort

Il convient de ne jamais alimenter un chien immédiatement avant un effort afin de permettre une vidange gastrique complète avant le début de l'exercice (voir figure ci-dessous). Cela permet de limiter les risques de vomissements et de diarrhées lors de l'effort et un tel niveau d'approvisionnement permet d'éviter le coup de fatigue lié au pic d'insuline induit par le repas.

Après un effort

Il est indispensable de ne pas proposer de nourriture immédiatement après l'exercice, afin de laisser au flux sanguin le temps de se rediriger depuis l'appareil musculo-squelettique vers l'appareil digestif (voir figure ci-dessous). Cela est d'autant plus important pour les chiens à thorax profond prédisposés à la dilatation et torsion d'estomac. En cas de ration distribuée en une seule fois, il est préférable de la distribuer après l'effort plutôt qu'avant afin de limiter les risques de torsion d'estomac.



Mettre le chien à la diète

Pour les chiens effectuant un effort de vitesse durant moins de 20 minutes, il est bénéfique de diminuer modérément le volume alimentaire 24 heures avant une compétition (une diminution de l'apport calorique de 20 à 30%) pour diminuer le volume fécal, ce qui aide à prévenir la défécation durant l'exercice.

Il est aussi possible de ne pas nourrir le chien dans les 8 heures avant l'exercice afin d'éviter une réduction de la performance.



La supplémentation en canicross

Lipides

Les acides gras à chaîne courte ou moyenne (AGCM), présents dans l'huile de coco, palme et coprah, sont des lipides digérés et assimilés très facilement, ce qui améliore le métabolisme énergétique. Ils peuvent être ajoutés en supplémentation 1h avant un effort, et au bout de 20 minutes en cas d'effort plus long. Dose : 0,4g/kg

Les oméga-3 favorisent la fluidité membranaire et ont des propriétés anti-inflammatoires, notamment l'EPA et le DHA. Les huiles de colza et de soja contiennent à la fois des oméga-3 et 6 (mais peu d'EPA et de DHA), tandis que les huiles de poisson (de préférence en gélules) sont riches en EPA et DHA. Il est donc possible de cumuler ou d'alterner entre ces deux types d'huiles afin d'apporter des oméga-6 et des oméga-3 (dont EPA et DHA) de manière équilibrée. Mais cette supplémentation doit être associée à un ajout de vitamine E.

Glucides

L'administration d'une petite quantité de glucides dans les 30 minutes après l'effort augmente le taux de reconstitution du glycogène intramusculaire. Cela est surtout intéressant en cas d'efforts rapprochés le même jour (à 2 ou 3 heures d'intervalle) et/ou plusieurs jours consécutifs. Dose : maltodextrine 1,5 à 2 g/kg ou mélange de riz 1g/kg + miel 0,5 g/kg

Acides aminés

Les BCAA peuvent aider les chiens à récupérer plus vite car ils sont impliqués dans la synthèse protéique, l'apport d'énergie aux cellules musculaires squelettiques, et l'élimination des lactates dans le muscle durant l'exercice. De plus, ils seraient associés à une diminution de la fatigue mentale et physique lors d'un exercice intense. Dose : 400 mg/kg.

La L-Carnitine est impliquée dans le métabolisme aérobie des lipides et favorise leur oxydation dans les cellules. Il peut être intéressant d'en ajouter dans la ration quotidienne pour les chiens pratiquant des efforts longs et en intensité semi-maximale, comme en canicross long. Dose : 50 mg/kg.



Et les articulations ?

Les chondroprotecteurs sont des dérivés de l'acide glycuronique, l'élément fondamental du cartilage. Ils sont donc intégrés facilement à la matrice cartilagineuse. La chondroïtine sulfate, les glycosaminoglycanes polysulfatés, et la poudre de moule verte peuvent être ajoutés à la ration des chiens de canicross en prévention d'affections articulaires traumatiques.

Les oméga-3 EPA et DHA sont connus pour diminuer les signes d'arthrose en réduisant l'inflammation intra-articulaire. Il est donc intéressant d'en ajouter en prévention des traumatismes répétés. Cf partie « lipides ».

Vitamines

Un apport supplémentaire en vitamines du groupe B, via la levure de bière par exemple, peut être intéressant car elles jouent un rôle déterminant dans le métabolisme énergétique et protéique.

Plus particulièrement, la vitamine B12 qui participe à la formation des globules rouges peut être apportée en plus grande quantité afin de lutter contre le phénomène d'anémie et de fatigue liées à l'effort. Dose : 40 µg/kg.

Le diméthyl glycine (DMG), principe actif de la vitamine B15, permet de retarder la sensation de fatigue car il améliore le stockage des phosphagènes musculaires, diminue la production des lactates et abaisse la lactatémie post-exercice. Il améliore également les performances car il élève le seuil anaérobie. Il est donc intéressant lors d'efforts anaérobies ou aéro-anaérobies, comme en canicross court. Dose : 1,5 mg/kg.

Antioxydants

Les vitamines E et C sont très antioxydantes et permettent de protéger l'organisme des effets délétères du stress oxydatif lié à l'effort. Cependant, des taux excessifs d'antioxydants sont inutiles voire délétères pour la performance du chien. Il est donc préférable d'apporter plusieurs types d'antioxydants à doses modérées. Les aliments complets adaptés aux chiens actifs en contiennent généralement des quantités adéquates, mais les chiens nourris avec des rations non-conventionnelles peuvent être supplémentés en vitamine E, d'autant plus s'ils sont supplémentés en acides gras essentiels. Dose : 10 UI/kg.

La super oxyde dismutase (SOD) est une enzyme antioxydante naturellement présente dans les globules rouges et les cellules musculaires. Elle peut être ajoutée sous la forme vectorisée issue du melon afin de résister à l'acidité gastrique. Dose : 10 à 20 mg/kg.

Soutien digestif

Pour les chiens sujets aux diarrhées de stress, l'ajout de poudre de psyllium peut aider à les résoudre. La fibre de psyllium est un mucilage qui a la capacité de retenir l'eau et de soutenir les bactéries de la flore intestinale. Dose : 4 à 16 g pour un chien de 20 à 30 kg.

Aussi, les probiotiques (bactéries ou levures) améliorent la santé du tube digestif en permettant une biorégulation de la flore intestinale, en jouant un rôle antibactérien envers les germes pathogènes, et en stimulant l'immunité locale et générale. Enfin, ils améliorent la digestion car ils produisent des enzymes digestives et ils favorisent une meilleure assimilation des protéines alimentaires.

Conclusion

Le canicross est une activité relativement récente et qui se développe continuellement depuis les années 80. Le niveau sportif des chiens augmente de manière constante et leur préparation, notamment nutritionnelle, doit être adaptée à la pratique de ce sport pour prévenir l'apparition de pathologies.

Cependant, les principales données scientifiques dont nous disposons actuellement concernent le lévrier de course (modèle de sprinter) et le chien de traîneau (modèle d'endurance). Or le chien de canicross effectue une activité de type intermédiaire, et se situe entre ces deux extrêmes. Ainsi, le but de cette thèse est de faire l'état des lieux des habitudes des pratiquants de canicross concernant l'alimentation de leur chien, et de leur apporter des connaissances scientifiques sur les sujets qui semblent les plus pertinents.

Après avoir rappelé les bases du métabolisme énergétique de l'effort, et étudié les recommandations scientifiques en termes de nutrition canine, nous avons vu que les habitudes des propriétaires de chiens pratiquant le canicross ne sont pas toujours optimales. Il semble donc important d'aider les propriétaires à choisir les aliments et les méthodes les plus adaptées à leur chien et à leur pratique sportive afin d'améliorer leur santé et leur performance.

Pour cela, des fiches informatives ont été élaborées. Elles se veulent visuelles et vulgarisées afin d'optimiser leur compréhension. Ce travail est destiné aux propriétaires de chien et aux clubs de canicross.

Liste des références bibliographiques

- ADKINS, T.O., KRONFELD, D.S. (1982) Diet of racing sled dogs affects erythrocyte depression by stress. *The Canadian Veterinary Journal* vol. 23, n° 9, p. 260-263.
- ATALAY, M., LAPPALAINEN, J., SEN, C.K. (2006) Dietary antioxidants for the athlete. *Current Sports Medicine Reports* vol. 5, n° 4, p. 182-186.
- AVIADO, D.M., JUHASZ-NAGY, A. (1977) Effets hémodynamiques de l'inosine sur le coeur normal et pathologique. *Revue de Médecine* n° 4-5, p. 209-220.
- BAKER, D.H., CZARNECKI-MAULDEN, G.L. (1991) Comparative nutrition of cats and dogs. *Annual Review of Nutrition* vol. 11, p. 239-263.
- BAKER, M.A. (1984) Thermoregulatory responses to exercise in dehydrated dogs. *Journal of Applied Physiology* vol. 56, n° 3, p. 635-640.
- BERGSTROM, J., HERMANSEN, L., HULTMAN, E., *et al.* (1967) Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica* vol. 71, n° 2, p. 140-150.
- BETTS, J.G., DESAIX, P., JOHNSON, E., *et al.* (2017) *Anatomy & Physiology*. Houston, Texas, Rice University.
- BIGARD, A.X. (2005) Stratégies de Resynthèse du Glycogène au Cours de la Récupération. In *Chatard, J.C., Lutter contre le dopage en gérant la récupération physique*, 3ème Edition. Saint-Etienne, Université de Saint-Etienne, p. 149-154.
- BLANCHARD, G., PARAGON, B.M. (2020) *L'alimentation des chiens*, 2ème Edition. Paris, France Agricole.
- BLANCHARD, G., PARAGON, B.M., NGUYEN, P. (2011) Digestibility of a homemade diet in healthy dogs and cats. In *Proceeding of the 15th ESVCN conference, 14-16 septembre*. Saragosse, p. 86.
- BLANCKAERT, C. (2009) *Obésité du chien*. Issy-les-Moulineaux, Elsevier Masson.
- BLOMSTRAND, E., HASSMÉN, P., EKBLUM, B., *et al.* (1991) Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise--effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 63, n° 2, p. 83-88.
- BORUM, P.R. (1983) Carnitine. *Annual Review of Nutrition* vol. 3, n° 1, p. 233-259.
- CABRERA, J., CLÉRO, D. (2020) Bases de médecine sportive canine. Diaporama de cours. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique de Médecine de l'Élevage et du Sport.
- CLÉRO, D. (2015) Intérêt d'une supplémentation nutritionnelle adaptée dans l'optimisation de la performance physique de travail du chien d'utilité. Thèse de doctorat de Physiologie, Physiopathologie et Thérapeutique. Paris, Université Pierre et Marie Curie.
- CLÉRO, D., GRANDJEAN, D. (2011) La préparation du chien à l'effort physique, comment optimiser la performance. *Le Nouveau Praticien Vétérinaire* vol. 10, n° 47, p. 39-45.
- COMBRISSE, H. (1991) Adaptations cardio-vasculaires et respiratoires à l'exercice chez le chien. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 167, n° 7/8, p. 649-657.
- CORRIGAN, J.J. (1979) Coagulation problems relating to vitamin E. *The American Journal of Pediatric Hematology/Oncology* vol. 1, n° 2, p. 169-173.
- COSTES, A. (2010) Impact de la chaleur sur le travail du chien de canicross. Thèse de Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.
- CRÉPEAUX, G. (2017) Les métabolismes et leurs régulations. Polycopié. Maisons-Alfort, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique de Physiologie, Ethologie et Génétique.
- DE PALO, E.F., GATTI, R., CAPPELLIN, E., *et al.* (2001) Plasma lactate, GH and GH-binding protein levels in exercise following BCAA supplementation in athletes. *Amino Acids* vol. 20, n° 1, p. 1-11.
- DOWNEY, R.L., KRONFELD, D.S., BANTA, C.A. (1980) Diet of Beagles affects stamina. *Journal of the American Animal Hospital Association* vol. 16, p. 273-277.

- DUNLAP, K.L., REYNOLDS, A.J., DUFFY, L. (2006) Total antioxydant power in sled dogs supplemented with blueberries and the comparison of blood parameters associated with exercise. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* vol. 143, n° 4, p. 429-434.
- ERJAVEC, V., VOVK, T., NEMEC SVETE, A. (2022) The Effect of Two Acute Bouts of Exercise on Oxidative Stress, Hematological, and Biochemical Parameters, and Rectal Temperature in Trained Canicross Dogs. *Frontiers in Veterinary Science* vol. 9, n° 767482.
- FALAVIGNA, G., ALVES DE ARAÚJO JUNIOR, J., MACEDO ROGERO, M., *et al.* (2012) Effects of Diets Supplemented with Branched-Chain Amino Acids on the Performance and Fatigue Mechanisms of Rats Submitted to Prolonged Physical Exercise. *Nutrients* vol. 4, n° 11, p. 1767-1780.
- FAUVEAU, R. (2021) Guide de nutrition pour les vétérinaires : Bien nourrir les chiens et chats présentant des maladies chroniques. Thèse de Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.
- FEDIAF (2019) Guide Nutritionnel. In *facco.fr*. [<https://www.facco.fr/wp-content/uploads/2020/01/facco-guide-nutritionnel-fediaf-aliments-complets-chiens-chats.pdf>] (consulté le 26/09/2022).
- FFST (2021) Règles Techniques et de Sécurité des sports de traîneau à chiens, de skijoring, de bikejoring et de canicross. In *ffstmushing.org*. [<https://ffstmushing.org/wp-content/uploads/2021/08/R.T.S.-F.F.S.T..pdf>] (consulté le 22/05/2022).
- FONTANEY, A. (2019) Enquête auprès des licenciés français sur leur pratique du canicross et aptitudes génétiques des races canines. Thèse de Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.
- FOUBERT, L. (2020) 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 de Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.
- FSLC (2022) Règlement de course FSLC. In *fslc-canicross.net*. [<https://www.fslc-canicross.net/statuts-et-reglements-fslc/>] (consulté le 30/04/2022).
- FUHRER, L., DUNLAP, H., REYNOLDS, A. (1991) Evolution morphologique du chien de traîneau et conséquences biomécaniques. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 167, n° 7/8, p. 659-665.
- GANNON, J.R., KENDALL, R.V. (1982) A clinical evaluation of N,N-dimethylglycine (DMG) and diisopropylammonium dichloroacetate (DIPA) on the performance of racing greyhounds. *Canine Practice* vol. 9, n° 6, p. 7-9, 12-13.
- GIRON, M.D., MATAIX, F.J., SUAREZ, M.D. (1992) Long-term effects of dietary monounsaturated and polyunsaturated fatty acids on the lipid composition of erythrocyte membranes in dogs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* vol. 102, n° 1, p. 197-201.
- GOGNY, M., SOULEM, O. (1995) Eléments de physiologie de l'effort chez le chien et le cheval. *Le Point Vétérinaire* vol. 27, n° 171, p. 597-605.
- GOODNIGHT, S.H. (1989) The effects of omega-3 fatty acids on thrombosis and atherogenesis. *Hematologic Pathology* vol. 3, n° 1, p. 1-9.
- GRANDJEAN, D. (2023) Essais non publiés, communication orale.
- GRANDJEAN, D. (2022) Bases de médecine du chien de sport et d'utilité. Diaporama de cours. Maisons-Alfort, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique de Médecine de l'Élevage et du Sport.
- GRANDJEAN, D. (1995) Pathologie du chien de sport, première partie : les affections organiques. *Le Point Vétérinaire* vol. 27, n° 171, p. 607-616.
- GRANDJEAN, D. (1991a) Le sport de traîneau à chiens et ski-pulka. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 167, n° 7/8, p. 589-593.
- GRANDJEAN, D. (1991b) Nutritional particularities of racing greyhounds. Présenté à Eastern States Veterinary Conference, 12-13 janvier, Orlando, Floride.
- GRANDJEAN, D., KRONFELD, D.S., FERRANTE, P.L. (1991a) Le soutien nutritionnel ergogène de l'effort chez le chien de sport. *Recueil de Médecine Vétérinaire Spécial Chien de Sport* vol. 167, n° 7/8, p. 753-761.
- GRANDJEAN, D., KRONFELD, D.S., PARAGON, B.M. (1991b) Alimentation du chien de sport et de travail. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 167, n° 7/8, p. 727-751.

- GRANDJEAN, D., MOQUET, N., PAWLOWIEZ, S., *et al.* (2002) Guide pratique du chien de sport & d'utilité, 2ème Edition. Paris, Aniwa Publishing.
- GRANDJEAN, D., VALETTE, J.P., JOUGLIN, M., *et al.* (1993) Interet d'une supplémentation nutritionnelle en L-carnitine, vitamine C et vitamine B12 chez le chien de sport. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 169, n° 7, p. 543-551.
- GROSS, K.L., WEDEKING, K.J., COWELL, C.S., *et al.* (2000) Nutriments. *In Hand, M.S., Thatcher, C.D., Remillard, R.L., et al., Nutrition Clinique des Animaux de Compagnie*, 4ème Edition. Topeka, Kansas, Mark Morris Institute, p. 21-117.
- HARALAMBIE, G. (1979) Magnesiumstoffwechsel bei körperlicher Belastung. *Krankenhausartz* vol. 52, p. 293-299.
- HARPER, A.E., BENEVENGA, N.J., WOHLHUETER, R.M. (1970) Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiological Reviews* vol. 50, n° 3, p. 428-558.
- HICKSON, J.F., WOLINSKY, I. (1989) Nutrition in Exercise and Sport. Boca Raton, Floride, CRC Press.
- HILL, R.C. (2012) Nutritional and Energy Requirements for Performance. *In Fascetti, A.J., Delaney, S.J., Applied Veterinary Clinical Nutrition*. Ames, Iowa, Wiley-Blackwell, p. 47-56.
- HILL, R.C. (1998) The nutritional requirements of exercising dogs. *Journal of Nutrition* vol. 128, n° 12 suppl, p. 2686-2690.
- HILL, R.C., ARMSTRONG, D., BROWNE, R.W. (2001a) Chronic administration of high doses of vitamin E appear to slow racing greyhounds. *The FASEB Journal* vol. 15, n° 5, p. A990.
- HILL, R.C., BLOOMBERG, M., LEGRAND-DEFRETIN, V., *et al.* (2000) Maintenance energy requirements and the effect of diet on performance of racing Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research* vol. 61, n° 12, p. 1566-1573.
- HILL, R.C., LEWIS, D.D., SCOTT, K.C., *et al.* (2001b) Effect of increased dietary protein and decreased dietary carbohydrate on performance and body composition in racing Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research* vol. 62, n° 3, p. 440-447.
- 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, p. 401-405.
- HINCHCLIFF, K.W., REINHART, G.A., DISILVESTRO, R., *et al.* (2000) Oxidant stress in sled dogs subjected to repetitive endurance exercise. *American Journal of Veterinary Research* vol. 61, n° 5, p. 512-517.
- HOCHACHKA, P.W. (1991) Design of energy metabolism. *In Prosser, C.L., Comparative Animal Physiology: Vol. 1, Environmental and Metabolic Animal Physiology*, 4ème Edition. New-York, John Wiley & Sons, p. 325-351.
- HUSON, H., PARKER, H., RUNSTADLER, J., *et al.* (2010) Genetic dissection of breed composition and performance enhancement in the Alaskan sled dog. *BMC genetics* vol. 11, p. 71. [<https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-71>]
- JAHNEN-DECHENT, W., KETTELER, M. (2012) Magnesium basics. *Clinical Kidney Journal* vol. 5 Suppl 1, p. i3-i14.
- JEWELL, D.E., TOLL, P.W., WEDEKIND, K.J., *et al.* (2000) Effect of increasing dietary antioxidants on concentrations of vitamin E and total alkenals in serum of dogs and cats. *Veterinary Therapeutics* vol. 1, n° 4, p. 264-272.
- KRAMER, G.A., KITTLESON, M.D., FOX, P.R., *et al.* (1995) Plasma taurine concentrations in normal dogs and in dogs with heart disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 9, n° 4, p. 253-258.
- KRONFELD, D.S. (1989) Vitamin and mineral supplementation for dogs and cats: A monograph on micronutrients. Santa Barbara, Californie, Veterinary Practice Publishing Company.
- KRONFELD, D.S. (1973) Diet and the performance of racing sled dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 162, n° 6, p. 470-473.
- KRONFELD, D.S., ADKINS, T.O., DOWNEY, R.L. (1989) Nutrition, anaerobic and aerobic exercise, and stress. *In Burger, I.H., Rivers, J.P.W., Nutrition of the dog and cat: Waltham Symposium*. Cambridge, Cambridge University Press, p. 133-145.
- KRONFELD, D.S., DOWNEY, R.L. (1981) Nutritional Strategies for Stamina in Dogs and Horses. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* vol. 6, p. 21-29.

- KRONFELD, D.S., FERRANTE, P.L. (1990) Evaluation of ergonomic diets and nutrients for stressed dogs. Présenté à Colloque International de Médecine Sportive Canine, Blagnac, Royal Canin.
- KRONFELD, D.S., FERRANTE, P.L., GRANDJEAN, D. (1994) Optimal nutrition for athletic performance with emphasis on fat adaptation in dogs and horses. *Journal of Nutrition* vol. 124, n° suppl 12, p. 2745-2753.
- KRONFELD, D.S., HAMMEL, E.P., RAMBERG, C.F., *et al.* (1977) Hematological and metabolic responses to training in racing sled dogs fed diets containing medium, low, or zero carbohydrate. *The American Journal of Clinical Nutrition* vol. 30, n° 3, p. 419-430.
- LASBLEIZ, Y. (2007) Historique du canicross en France. In *asla59.fr*. [https://www.asla59.fr/wa_files/historique.201.4633.pdf] (consulté le 21/04/2022).
- LEAF, A., WEBER, P.C. (1988) Cardiovascular effects of n-3 fatty acids. *The New England Journal of Medicine* vol. 318, n° 9, p. 549-557.
- LEFEBVRE, S. (2019) Nutrition Vétérinaire du Chien et du Chat, 3ème Edition. Lyon, Sébastien Lefebvre.
- LEIB, M.S. (2000) Treatment of chronic idiopathic large-bowel diarrhea in dogs with a highly digestible diet and soluble fiber: a retrospective review of 37 cases. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 14, n° 1, p. 27-32.
- LIU, Z., WU, Y., LIU, T., *et al.* (2017) Serotonin regulation in a rat model of exercise-induced chronic fatigue. *Neuroscience* vol. 349, p. 27-34.
- MACDONALD, M.L., ROGERS, Q.R., MORRIS, J.G. (1984) Effects of dietary arachidonate deficiency on the aggregation of cat platelets. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* vol. 78, n° 1, p. 123-126.
- MACDONALD, M. L., ROGERS, Q.R., MORRIS, J.G., *et al.* (1984) Effects of linoleate and arachidonate deficiencies on reproduction and spermatogenesis in the cat. *The Journal of Nutrition* vol. 114, n° 4, p. 719-726.
- MACCELLIN-LITTLE, D.J., LEVINE, D., TAYLOR, R. (2005) Rehabilitation and conditioning of sporting dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 35, n° 6, p. 1427-1439.
- MANSFIELD, C. (2012) Acute Pancreatitis in Dogs: Advances in Understanding, Diagnostics, and Treatment. *Topics in Companion Animal Medicine, Exocrine Pancreatic Insufficiency and Pancreatitis* vol. 27, n° 3, p. 123-132.
- MARSHALL, R.J., SCOTT, K.C., HILL, R.C., *et al.* (2002) Supplemental vitamin C appears to slow racing greyhounds. *The Journal of Nutrition* vol. 132, n° 6 Suppl 2, p. 1616S-1621S.
- MAZIN, R.M., FORDYCE, H.H., OTTO, C.M. (2001) Electrolyte replacement in urban search and rescue dogs: a field study. *Veterinary Therapeutics: Research in Applied Veterinary Medicine* vol. 2, n° 2, p. 140-147.
- MCANULTY, S.R., MCANULTY, L.S., NIEMAN, D.C., *et al.* (2005) Effect of alpha-tocopherol supplementation on plasma homocysteine and oxidative stress in highly trained athletes before and after exhaustive exercise. *Journal of Nutritional Biochemistry* vol. 16, n° 9, p. 530-537.
- METZ, D. (1991) L'entraînement du chien de ski-pulka. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 167, n° 7/8, p. 699-702.
- MILNER, J.A. (1989) Arginine: A Dietary Modifier of Ammonia Detoxification and Pyrimidine Biosynthesis. In *Friedman, M., Absorption and Utilization of Amino Acids, Vol. II*. Boca Raton, Floride, CRC Press, p. 25-40.
- MUSCH, T.I., FRIEDMAN, D.B., PITETTI, K.H., *et al.* (1987a) Regional distribution of blood flow of dogs during graded dynamic exercise. *Journal of Applied Physiology* vol. 63, n° 6, p. 2269-2277.
- MUSCH, T.I., HAIDET, G.C., ORDWAY, G.A., *et al.* (1987b) Training effects on regional blood flow response to maximal exercise in foxhounds. *Journal of Applied Physiology* vol. 62, n° 4, p. 1724-1732.
- NRC (2006) Nutrient Requirements of Dogs and Cats. Washington, DC, The National Academies Press.
- NRC (1985) Nutrient Requirements of Dogs. Washington, DC, The National Academies Press.

- PALAZZETTI, S., RICHARD, M.J., FAVIER, A., *et al.* (2003) Overloaded Training Increases Exercise-Induced Oxidative Stress and Damage. *Canadian Journal of Applied Physiology* vol. 28, n° 4, p. 588-604.
- PEYCRU, P. (2010) BIOLOGIE, tout-en-un, BCPST 1ère année, 2ème Edition. Paris, Dunod.
- PIERCY, R.J., HINCHCLIFF, K.W., MORLEY, P.S., *et al.* (2001) Association between vitamin E and enhanced athletic performance in sled dogs. *Medicine and Science in Sports and Exercise* vol. 33, n° 5, p. 826-833.
- PIERCY, R. J., HINCHCLIFF, K.W., MORLEY, P.S., *et al.* (2001) Vitamin E and exertional rhabdomyolysis during endurance sled dog racing. *Neuromuscular Disorders* vol. 11, n° 3, p. 278-286.
- POULTER, D. (1987) Vet practice in the greyhound business. Présenté à World Greyhound Racing Federation conference, Londres.
- PRATT-PHILLIPS, S.E., OLSEN, R., GEOR, R., *et al.* (2018) Effect of reduced protein intake on endurance performance and water turnover during low intensity long duration exercise in Alaskan sled dogs. *Comparative Exercise Physiology* vol. 14, n° 1, p. 19-26.
- PUUSTJÄRVI, K., LAPPALAINEN, R., NIEMITUKIA, L., *et al.* (1995) Long-distance running alters bone anthropometry, elemental composition and mineral density of young dogs. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* vol. 5, n° 1, p. 17-23. [<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1995.tb00005.x>]
- QAISAR, R., BHASKARAN, S., VAN REMMEN, H. (2016) Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. *Free Radical Biology and Medicine* vol. 98, p. 56-67.
- QUERENGAESSER, A., IBEN, C., LEIBETSEDER, J. (1994) Blood changes during training and racing in sled dogs. *The Journal of Nutrition* vol. 124, n° 12, p. 2760S-2764S.
- RAVIĆ, B., DEBELJAK-MARTACIĆ, J., POKIMICA, B., *et al.* (2022) The Effect of Fish Oil-Based Foods on Lipid and Oxidative Status Parameters in Police Dogs. *Biomolecules* vol. 12, n° 8, p. 1092.
- REYNOLDS, A.J., CAREY, D.P., REINHART, G.A., *et al.* (1997) Effect of postexercise carbohydrate supplementation on muscle glycogen repletion in trained sled dogs. *American Journal of Veterinary Research* vol. 58, n° 11, p. 1252-1256.
- REYNOLDS, A.J., FUHRER, L., DUNLAP, H.L., *et al.* (1995) Effect of diet and training on muscle glycogen storage and utilization in sled dogs. *Journal of Applied Physiology* vol. 79, n° 5, p. 1601-1607.
- REYNOLDS, A.J., REINHART, G.A., CAREY, D.P., *et al.* (1999) Effect of protein intake during training on biochemical and performance variables in sled dogs. *American Journal of Veterinary Research* vol. 60, n° 7, p. 789-795.
- RICHTER, E.A., GALBO, H. (1986) High glycogen levels enhance glycogen breakdown in isolated contracting skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* vol. 61, n° 3, p. 827-831.
- RIVIÈRE, J. (2022) Le BARF selon la science. La Cantine d'Owen.
- ROBERTS, T.J., WEBER, J.M., HOPPELER, H., *et al.* (1996) Design of the oxygen and substrate pathways. II. Defining the upper limits of carbohydrate and fat oxidation. *The Journal of Experimental Biology* vol. 199, p. 1651-1658.
- ROUDEBUSH, P., GUILFORD, W.G., SHANLEY, K.J. (2000) Réactions indésirables aux aliments. *In Hand, M.S., Thatcher, C.D., Remillard, R.L., et al., Nutrition Clinique des Animaux de Compagnie*, 4ème Edition. Topeka, Kansas, Mark Morris Institute, p. 453-472.
- ROUSSAKIS, M. (2015) My Awe of the Human Body: Muscle Movement. *In mykindofscience.com*. [<https://mykindofscience.com/2015/01/20/my-awe-of-the-human-body-muscle-movement-2/>] (consulté le 11/09/2022).
- SAHLIN, K. (1983) Effect of acidosis on energy metabolism and force generation in skeletal muscle. *In Knuttgen, H.G., Vogel, J.A., Poortmans, J., Biochemistry of exercise*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, p. 151-160.
- SARRET, O. (1991) Contribution à l'étude des précurseurs d'ATP en médecine sportive canine. Etude de l'inosine lors d'épreuves-tests standardisées. Thèse de Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.
- SCHIAFFINO, S., REGGIANI, C. (2011) Fiber Types in Mammalian Skeletal Muscles. *Physiological Reviews* vol. 91, n° 4, p. 1447-1531.

- SCOTT, K.C., HILL, R.C., LEWIS, D.D., *et al.* (2002) Serum ascorbic acid concentrations in previously unsupplemented greyhounds after administration of a single dose of ascorbic acid intravenously or per os. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* vol. 86, n° 7-8, p. 222-228.
- SCOTT, K.C., HILL, R.C., LEWIS, D.D., *et al.* (2001) Effect of alpha-tocopheryl acetate supplementation on vitamin E concentrations in Greyhounds before and after a race. *American Journal of Veterinary Research* vol. 62, n° 7, p. 1118-1120.
- SHE, P., ZHOU, Y., ZHANG, Z., *et al.* (2010) Disruption of BCAA metabolism in mice impairs exercise metabolism and endurance. *Journal of Applied Physiology* vol. 108, n° 4, p. 941-949.
- SPOO, J.W., ZORAN, D.L., DOWNEY, R.L., *et al.* (2015) Serum biochemical, blood gas and antioxidant status in search and rescue dogs before and after simulated fieldwork. *The Veterinary Journal* vol. 206, n° 1, p. 47-53.
- STEISS, J., AHMAD, H.A., COOPER, P., *et al.* (2004) Physiologic responses in healthy Labrador Retrievers during field trial training and competition. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 18, n° 2, p. 147-151.
- TICER, J.W. (1975) *Radiographic Technique in Small Animal Practice*. Philadelphie, Pennsylvanie, Saunders.
- TOLL, P.W., GILLETTE, R.L., HAND, M.S. (2010) Feeding Working and Sporting Dogs. In Hand, M.S., Thatcher, C.D., Remillard, R.L., *et al.*, *Small Animal Clinical Nutrition*, 5ème Edition. Topeka, Kansas, Mark Morris Institute, p. 321-355.
- TOLL, P.W., REYNOLDS, A.J. (2000) Le chien Sportif. In Hand, M.S., Thatcher, C.D., Remillard, R.L., *et al.*, *Nutrition Clinique des Animaux de Compagnie*, 4ème Edition. Topeka, Kansas, Mark Morris Institute, p. 283-309.
- TONIOLO, L., MACCATROZZO, L., PATRUNO, M., *et al.* (2007) Fiber types in canine muscles: myosin isoform expression and functional characterization. *American Journal of Physiology. Cell Physiology* vol. 292, n° 5, p. 1915-1926.
- UAUY, R., CASTILLO-DURAN, C., FISBERG, M., *et al.* (1985) Red Cell Superoxide Dismutase Activity as an Index of Human Copper Nutrition. *Journal of Nutrition* vol. 115, n° 12, p. 1650-1655.
- VAN VLEET, J.F. (1980) Current knowledge of selenium-vitamin E deficiency in domestic animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 176, n° 4, p. 321-325.
- VARLET, A. (1991) Organisation des concours de ring et concours en campagne. *Recueil de Médecine Vétérinaire* vol. 167, n° 7/8, p. 607-613.
- VOCK, R., HOPPELER, H., CLAASSEN, H., *et al.* (1996) Design of the oxygen and substrate pathways. VI. Structural basis of intracellular substrate supply to mitochondria in muscle cells. *The Journal of Experimental Biology* vol. 199, p. 1689-97.
- VOLPE, S.L. (2015) Magnesium and the Athlete. *Current Sports Medicine Reports* vol. 14, n° 4, p. 279-283.
- WAGENMAKERS, A.J.M. (1998) Muscle Amino Acid Metabolism at Rest and During Exercise: Role in Human Physiology and Metabolism. *Exercise and Sport Sciences Reviews* vol. 26, p. 287-314.
- WAKSHLAG, J.J., BARR, S.C., ORDWAY, G.A., *et al.* (2003) Effect of dietary protein on lean body wasting in dogs: correlation between loss of lean mass and markers of proteasome-dependent proteolysis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* vol. 87, n° 11-12, p. 408-420.
- WAKSHLAG, J.J., SHMALBERG, J.W. (2014) Nutrition for working and service dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 44, n° 4, p. 719-740.
- WAKSHLAG, J.J., SNEDDEN, K.A., OTIS, A.M., *et al.* (2002) Effects of post-exercise supplements on glycogen repletion in skeletal muscle. *Veterinary Therapeutics* vol. 3, n° 3, p. 226-234.
- WEBER, J.M. (2010) Metabolic fuels: regulating fluxes to select mix. *Journal of Experimental Biology* vol. 214, n° 2, p. 286-294.

- WEBER, J.M., BRICHON, G., ZWINGELSTEIN, G., *et al.* (1996a) Design of the oxygen and substrate pathways. IV. Partitioning energy provision from fatty acids. *The Journal of Experimental Biology* vol. 199, p. 1667-1674.
- WEBER, J.M., ROBERTS, T.J., VOCK, R., *et al.* (1996b) Design of the oxygen and substrate pathways. III. Partitioning energy provision from carbohydrates. *The Journal of Experimental Biology* vol. 199, p. 1659-1666.
- ZACHIN, M.J. (1990) Protein requirements for athletes. *Sports Medicine Digest* vol. 12, p. 1-3.
- ZANGHI, B.M., MIDDLETON, R.P., REYNOLDS, A.J. (2015) Effects of post-exercise feeding of a supplemental carbohydrate and protein bar with or without astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to exercise-conditioned dogs. *American Journal of Veterinary Research* vol. 76, n° 4, p. 338-350.
- ZELIKOVIC, I., CHESNEY, R.W. (1989) Taurine in Biology and Nutrition. In *Friedman, M., Absorption and Utilization of Amino Acids, Vol. I*. Boca Raton, Floride, CRC Press, p. 199-228.
-

Annexe 1 : Questionnaire diffusé aux pratiquants de canicross

ALIMENTATION DES CHIENS DE CANICROSS

Bonjour,

Etudiante en dernière année à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, je pratique le canicross depuis 3 ans. Dans le cadre de ma thèse, je m'intéresse à l'alimentation des chiens de traction mono-chien. Ce travail a pour but de mettre en évidence l'importance des différentes composantes de la nutrition du chien, d'autant plus lorsqu'un effort est fourni. Par le biais de ce questionnaire, une analyse statistique permettra d'étudier les habitudes des propriétaires de tels chiens et d'évaluer l'adéquation entre leurs besoins et leurs apports.

Si vous possédez plusieurs chiens qui pratiquent le canicross, merci de bien vouloir remplir un questionnaire par chien. Aucune information personnelle ne sera utilisée dans un autre cadre que ce travail.

Pour un maximum de précision dans les calculs de ration, merci de m'envoyer des photos de votre chien (de la tête à la queue, vu du dessus et vu de profil), ainsi que des photos des emballages et des étiquettes des produits utilisés, à l'adresse mail suivante : alim.canicross@gmail.com

Merci d'avance pour votre aide !

Laure Cornement

** Indique une question obligatoire*

Votre chien

1. Quelle est sa race ? *

2. Est-ce : *

Une seule réponse possible.

Un mâle

Une femelle

3. Est-il stérilisé ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

4. Quelle est sa date de naissance ? *

5. Quel est son tempérament ? *

Une seule réponse possible.

Calme

Anxieux

Hyperactif

6. A-t-il une maladie chronique ? Si oui, précisez dans "autre" *

Une seule réponse possible.

Non

Autre : _____

7. Prend-il un traitement au long cours ? Si oui, précisez dans "autre" *

Une seule réponse possible.

Non

Autre : _____

8. Où vit-il principalement ? *

Plusieurs réponses possibles.

Maisons/appartement

Jardin/niche

Chenil/garage isolé ou chauffé

Chenil/garage non isolé et non chauffé

Autre : _____

9. D'après cette grille, quel est le score des selles de votre chien ? *

	Score 1 Selles complètement liquides (aucune texture).		Score 1,5 Selles liquides avec un minimum de consistance.
	Score 2 Selles très humides, mais non liquides. Texture semblable à la bouse de vache sans forme définie.		Score 2,5 Selles humides avec peu de consistance et sans forme définie. Aucun liquide visible.
	Score 3 Selles humides non craquelées avec une forme distincte.		Score 3,5 Selles humides ayant une forme plus distincte.
	Score 4 Selles présentant une forme clairement définie avec des craquelures visibles. Elles laissent très peu de résidus sur le sol lorsqu'on les ramasse.		Score 4,5 Selles présentant des craquelures très clairement définies. L'extérieur est très sec et l'intérieur est presque sec. Elles ne laissent pas de résidus sur le sol quand on les ramasse.
	Score 5 Selles dures, sèches et friables. Difficiles à éliminer pour les chiens.		

www.royalcanin.ca

Une seule réponse possible.

- 1
- 1,5
- 2
- 2,5
- 3
- 3,5
- 4
- 4,5
- 5

10. Quel est son poids moyen ? *

11. Est-ce que son poids varie beaucoup en période d'entraînement ? *

Une seule réponse possible.

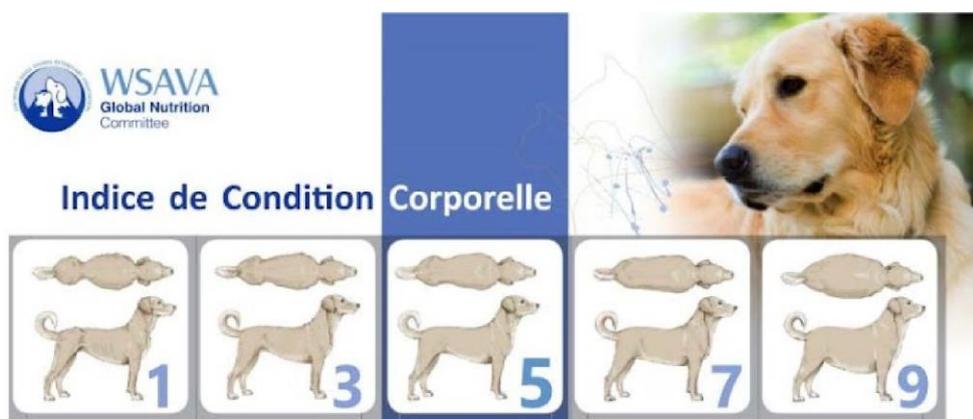
- Oui, il a tendance à perdre du poids durant la période d'entraînement
- Oui, il a tendance à prendre du poids durant la période d'entraînement
- Non, il ne varie pas (ou très peu) durant la période d'entraînement

12. Comment qualifieriez-vous le pelage de votre chien ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Fourni
- Clairsemé
- Doux
- Sec
- Brillant
- Terne
- Pellicules
- Gras

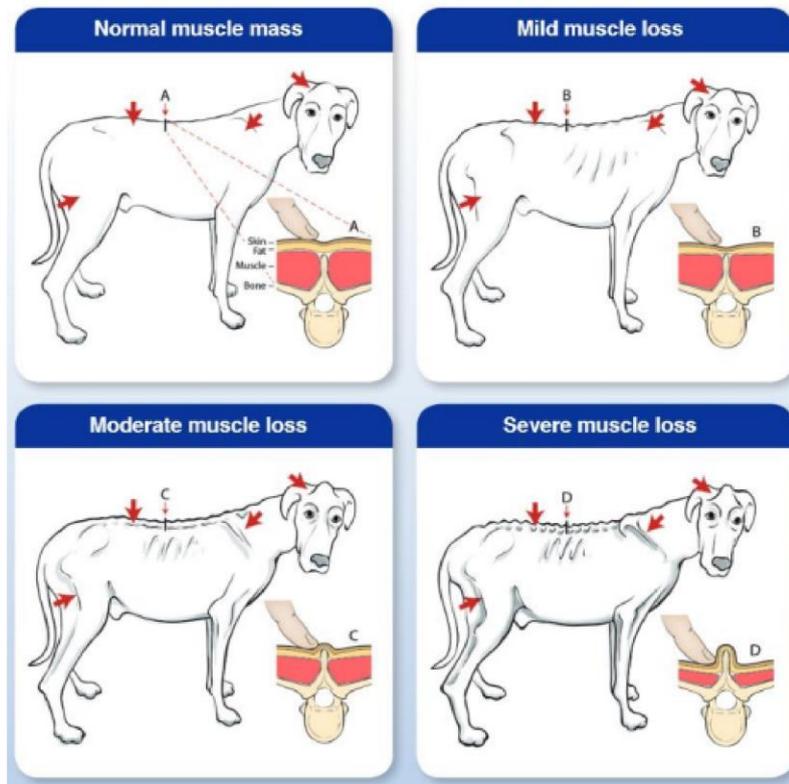
13. D'après cette grille, à combien appréciez-vous l'indice corporel de votre chien ? *



Une seule réponse possible.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

14. D'après cette grille, à combien appréciez-vous la masse musculaire de votre chien ? *



Une seule réponse possible.

- A
- B
- C
- D

Son (ses) activité(s)

15. En moyenne, combien de temps votre chien est-il actif à l'extérieur au quotidien (promenade en laisse ou en libre, exercices de traction, natation, jeu de balle ou avec d'autres chien...) ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 30min
- 30min à 1h
- 1 à 2h
- 2 à 3h
- Plus de 3h

16. Quel(s) sport(s) de traction pratiquez-vous avec lui en entraînement ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Canicross
- Canimarche
- CaniVTT
- Canitrottinette
- Autre : _____

17. Quelle est votre période d'entraînement et/ou de compétition ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Été (juin/juillet/août)
- Automne (septembre/octobre/novembre)
- Hiver (décembre/janvier/février)
- Printemps (mars/avril/mai)

18. Combien de fois par semaine vous entraînez-vous avec lui ? *

Une seule réponse possible.

- 1 à 2 fois
- 3 à 4 fois
- Plus de 4 fois

19. Combien de temps durent les sorties ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 30min
- 30min à 1h
- 1 à 2h
- Plus de 2h

20. Quelle distance parcourez-vous en début de période d'entraînement ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 5 km
- 5 à 10 km
- 10 à 15 km
- Plus de 15 km

21. Quelle distance parcourez-vous au plateau d'entraînement ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 5 km
- 5 à 10 km
- 10 à 15 km
- Plus de 15 km

22. A quelle vitesse moyenne ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Moins de 10 km/h
- 10 à 15 km/h
- 15 à 20 km/h
- 20 à 25 km/h
- 25 à 30 km/h
- Plus de 30 km/h

23. Quelle est l'intensité de la traction ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Peu présente
- Inconstante
- Constante
- Forte
- Moyenne
- Faible

24. Sur quel type de terrain ? *

Une seule réponse possible.

- Plat (pas de dénivelé)
- Vallonné (dénivelé moyen)
- Montagne (fort dénivelé)

25. Si dénivelé, avez-vous une estimation de ce dernier ?

26. Le chien est : *

Plusieurs réponses possibles.

- En libre
- Au harnais

27. Pratique-t-il d'autres sports ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Non, aucun
- Agility
- Attelage
- Frisbee
- Nage
- Randonnée
- Autre : _____

28. Si oui, combien de fois par semaine ?

Une seule réponse possible.

- Moins d'une fois
- 1 à 2 fois
- 3 à 4 fois
- Plus de 4 fois

Son alimentation

29. De quoi est principalement composée sa ration ? *

Une seule réponse possible.

- Croquettes ou pâtée *Passer à la question 37*
- Ration ménagère ou autre ration fraîche *Passer à la question 41*
- Ration mixte *Passer à la question 44*

30. Qui l'a recommandée/élaborée ?

Une seule réponse possible.

- Vétérinaire traitant
- Vétérinaire nutritionniste
- Educateur
- Autre : _____

31. Les jours d'effort, comment est répartie sa ration sur la journée ? *

Plusieurs réponses possibles.

- En 2 fois : 1/2 puis 1/2
- En 2 fois : 1/4 puis 3/4
- En 2 fois : 3/4 puis 1/4
- En 2 fois : 1/3 puis 2/3
- En 2 fois : 2/3 puis 1/3
- En 3 fois : 1/2 puis 1/4 puis 1/4
- En 3 fois : 1/4 puis 1/2 puis 1/4
- En 3 fois : 1/4 puis 1/4 puis 1/2
- En 3 fois : 1/3 puis 1/3 puis 1/3
- En 1 fois

32. Quand mange-t-il sa ration les jours d'effort ? (plusieurs réponses possibles si ration répartie en 2 ou 3 fois) *

Plusieurs réponses possibles.

- Plus de 3h avant l'effort
- Moins de 3h avant l'effort
- Moins de 2h après l'effort
- Plus de 2h après l'effort

33. Habituellement, comment mange-t-il sa ration ? *

Une seule réponse possible.

- Sur plusieurs heures
- Il se jette sur sa gamelle (en moins de 5 min)
- Il prend son temps mais finit en moins de 30 min

34. Semble-t-il rassasié à la fin de sa gamelle ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

35. Réclame-t-il en dehors de l'heure de ses repas ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

36. Comment sont stockés les aliments ? *

Plusieurs réponses possibles.

Dans le sac d'origine

Dans un contenant étanche

Au réfrigérateur

Au congélateur

A l'abri de l'humidité

A l'abri de la lumière

A l'air libre

Autre : _____

Sa ration les jours d'effort

Cas d'une ration à base de croquettes ou pâtée

37. Marque et gamme : *

38. Quantité sur la journée : *

39. Adaptez-vous sa ration à sa charge d'activité (repos, entraînement, compétition) ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

40. Si oui, la modifiez-vous : (précisez brièvement dans "autre")

Plusieurs réponses possibles.

"Au jour le jour" en fonction de jour de repos/jour de compétition/jour d'entraînement

Par périodes plus longues (ex : ration de repos tout l'été, etc) ?

Autre : _____

Passer à la question 49

Sa ration les jours d'effort

Cas d'une ration ménagère ou autre ration fraîche

41. Détail des ingrédients et leur quantité sur la journée : *

42. Adaptez-vous sa ration à sa charge d'activité (repos, entraînement, compétition) ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

43. Si oui, la modifiez-vous : (précisez brièvement dans "autre")

Plusieurs réponses possibles.

"Au jour le jour" en fonction de jour de repos/jour de compétition/jour d'entraînement

Par périodes plus longues (ex : ration de repos tout l'été, etc) ?

Autre : _____

Passer à la question 49

Sa ration les jours d'effort

Cas d'une ration mixte

44. Produit industriel : marque et gamme : *

45. Produit industriel : quantité sur la journée : *

46. Ration fraîche : détail des ingrédients et leur quantité sur la journée : *

47. Adaptez-vous sa ration à sa charge d'activité (repos, entraînement, compétition) ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

48. Si oui, la modifiez-vous : (précisez brièvement dans "autre")

Plusieurs réponses possibles.

"Au jour le jour" en fonction de jour de repos/jour de compétition/jour d'entraînement

Par périodes plus longues (ex : ration de repos tout l'été, etc) ?

Autre : _____

Passer à la question 49

La complémentation

49. Donnez-vous des compléments alimentaires dans la ration quotidienne ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

50. Nom du (des) produit(s) :

51. Quantité :

52. Combien de temps le donnez-vous dans l'année ?

Une seule réponse possible.

Moins de 1 mois

1 à 3 mois

3 à 6 mois

Plus de 6 mois

53. Utilisez-vous un snack de charge avant un effort ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

54. Nom du (des) produit(s) :

55. Quantité :

56. A quelle fréquence en donnez-vous ?

Plusieurs réponses possibles.

- Systématiquement lors des entraînements
- Systématiquement lors des compétitions
- En cas de conditions difficiles (ex : chaleur)
- Dans les jours qui précèdent les compétitions
- Dans les jours qui suivent les compétitions
- Autre : _____

57. A quel moment par rapport à l'effort ?

Une seule réponse possible.

- Plus de 1h avant l'effort
- Moins de 1h avant l'effort
- Autre : _____

58. Utilisez-vous un snack de récupération post-effort ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

59. Nom du (des) produit(s) :

60. Quantité :

61. A quelle fréquence en donnez-vous ?

Plusieurs réponses possibles.

- Systématiquement lors des entraînements
- Systématiquement lors des compétitions
- En cas de conditions difficiles (ex : chaleur)
- Dans les jours qui précèdent les compétitions
- Dans les jours qui suivent les compétitions
- Autre : _____

62. A quel moment par rapport à l'effort ?

Une seule réponse possible.

- Plus de 30min après l'effort
- Moins de 30 min après l'effort
- Autre : _____

L'hydratation

63. Les jours d'effort (entraînement ou compétition), l'eau est-elle donnée à volonté ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

64. Quand est-elle retirée avant un effort ? *

Une seule réponse possible.

- 1h ou plus avant l'effort
- 30min avant l'effort
- 10min avant l'effort
- Je ne la retire pas

65. L'eau est-elle réchauffée ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

66. Proposez-vous une réhydratation pendant l'effort ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

67. Ajoutez-vous une solution électrolytique ou une autre source d'hydratation dans la journée ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

68. Nom du (des) produit(s) :

69. Quantité :

70. Est-elle réchauffée ?

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

71. A quelle fréquence en donnez-vous ?

Plusieurs réponses possibles.

- Systématiquement lors des entraînements
- Systématiquement lors des compétitions
- En cas de conditions difficiles (ex : chaleur)
- Dans les jours qui précèdent les compétitions
- Dans les jours qui suivent les compétitions
- Autre : _____

72. A quel moment par rapport à l'effort ?

Une seule réponse possible.

- Plus de 1h avant l'effort
- Moins de 1h avant l'effort
- Pendant l'effort
- Moins de 30min après l'effort
- Plus de 30min après l'effort
- Autre : _____

A propos de vous

73. Vous êtes : *

Une seule réponse possible.

- Une femme
- Un homme
- Autre : _____

74. Quel âge avez-vous ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 20 ans
- 20-30 ans
- 30-40 ans
- 40-50 ans
- 50-60 ans
- Plus de 60 ans

75. Depuis combien de temps pratiquez-vous les sports de traction mono-chien ? *

Une seule réponse possible.

- Moins d'un an
- 1 à 3 ans
- 3 à 5 ans
- 5 à 10 ans
- Plus de 10 ans

76. Quels seraient selon vous les points clés à aborder dans des fiches d'information sur l'alimentation des chiens de canicross ?

77. Quel support serait le plus adapté ?

Plusieurs réponses possibles.

- Numérique
- Papier
- Vidéo

78. Merci d'indiquer votre adresse mail (vous ne serez contacté qu'en cas de besoin de précisions) *

Merci !

Pour un maximum de précision dans les calculs de ration, merci de m'envoyer des photos de votre chien (de la tête à la queue, vu du dessus et vu de profil), ainsi que des photos des emballages et des étiquettes des produits utilisés, à l'adresse mail suivante : alim.canicross@gmail.com

L'ALIMENTATION DES CHIENS DE CANICROSS ET DISCIPLINES ASSOCIÉES

AUTEUR : Laure CORNEMENT

RÉSUMÉ :

Le canicross est un sport de traction mono-chien relativement récent, toutefois le niveau sportif des chiens augmente de plus en plus. Ceux-ci nécessitent alors une préparation optimale, qui passe notamment par une alimentation adaptée à l'effort. Le canicross est une activité dite intermédiaire, entre le sprint et l'endurance, et d'intensité plutôt modérée. Ainsi, pour fournir de l'ATP aux cellules musculaires, le métabolisme principal mis en jeu est la voie aérobie, avec une oxydation importante des glucides et des lipides. L'alimentation du chien de canicross doit donc apporter l'énergie et les nutriments nécessaires au bon fonctionnement de ce métabolisme. Elle doit également prévenir les conséquences biochimiques de l'effort, comme le stress oxydatif, la déshydratation, et les modifications électrolytiques. Les modalités pratiques d'alimentation sont aussi déterminantes pour préserver la santé des chiens et améliorer leurs performances.

Le premier objectif de ce travail était de connaître les habitudes des pratiquants de canicross pour nourrir leur chien. Le questionnaire abordait la charge d'activité des chiens, la composition de leur ration, les modalités d'alimentation et d'hydratation, et les suppléments utilisés. Cette enquête nous a permis de mettre en évidence un manque d'information des pratiquants sur certains besoins de leur chien.

Le second objectif était de rédiger du contenu informatif sur des sujets choisis par les répondants. Les thèmes retenus étaient les modalités de distribution de l'aliment les jours d'effort, l'utilité de la supplémentation, et les modalités d'hydratation pré, per et post-effort. Les informations ont été synthétisées dans des fiches explicatives numériques.

Au regard du souhait des propriétaires de maîtriser l'alimentation et la santé de leur chien, il paraît intéressant de développer des supports du même type sur davantage de sujets touchant à la nutrition ou au canicross.

MOTS CLÉS :

CHIEN / CANICROSS / ALIMENTATION / BESOIN ENERGETIQUE / SUPPLEMENTATION / QUESTIONNAIRE / FICHES CONSEIL

JURY :

Président : Pr Andrew PONTER

Directeur de thèse : Pr Dominique GRANDJEAN

Examinatrice : Dr Lucie CHEVALLIER

Invité : Dr Joaquin CABRERA GONZÁLEZ

DIET OF CANICROSS DOGS AND ASSOCIATED SPORTS

AUTHOR: Laure CORNEMENT

SUMMARY:

Canicross is a single dog traction sport relatively recent, however the sporting level of the dogs is constantly increasing. They require an optimal preparation, which includes an adapted diet to sport. The canicross is classed between sprint and endurance, with a moderate intensity of effort. In order to furnish ATP to muscular cells, the main metabolism involved is the aerobic way, with an important carbohydrates and lipids oxidation. The canicross dog's diet therefore has to provide the energy and nutrients needed for. It also has to prevent biochemical consequences of effort, such as oxidative stress, dehydration, and electrolytic modifications. Practical diet modalities are also significant to preserve the dog's health and increase their performance.

The main objective of this work was to know the habits of canicrosser to feed their dog. The survey covered dog's activity load, the composition of their diet, feeding and hydration modalities, and the dietary supplements used. This survey allowed us to highlight a lack of information of canicrossers about some of their dog's needs.

The second objective was to write informative content on topics chosen by the respondents. The themes selected were how to feed on exercise day, the usefulness of supplementation, and how to hydrate before, during and after exercise. The information was summarized in digital advice sheets.

Regarding the wish of the owner's desire to control their dog's diet and health, it seems interesting to develop similar support on more topics relates to nutrition or canicross.

KEYWORDS:

DOG / CANICROSS / FEEDING / ENERGY REQUIREMENTS / SUPPLEMENTATION / SURVEY / ADVICE SHEETS

JURY:

Chairperson: Pr Andrew PONTER
Thesis Director: Pr Dominique GRANDJEAN
Reviewer: Dr Lucie CHEVALLIER
Guest: Dr Joaquin CABRERA GONZÁLEZ