




OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25413

To cite this version:

Dilger, Claire . *Les modes alimentaires humaines appliquées à l'alimentation des carnivores domestiques : origine et acceptabilité*. Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2018, 196 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ANNEE 2018 THESE : 2018 – TOU 3 – 4119

LES MODES ALIMENTAIRES HUMAINES APPLIQUEES A L'ALIMENTATION DES CARNIVORES DOMESTIQUES : ORIGINE ET ACCEPTABILITE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

DILGER Claire

Née, le 01 novembre 1992 à TARBES (65)

Directeur de thèse : Mme Annabelle MEYNADIER

JURY

PRESIDENT :
M. Claude MOULIS

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme Annabelle MEYNADIER
Mme Nathalie PRIYMENKO

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

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

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*

- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
- M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophtalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

MAITRES DE CONFERENCES CONTRACTUELS

- Mme **BORDE DORE Laura**, *Médecine interne des équidés*
- M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
- M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*

Remerciements

À Monsieur le Professeur Claude MOULIS

Professeur des Universités
Praticien hospitalier
Sciences Pharmaceutiques

Qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de thèse,
Hommages respectueux

À Madame le Docteur Annabelle MEYNADIER

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse
Alimentation

Qui a accepté d'encadrer ce travail, pour ses conseils et sa disponibilité,
Sincère reconnaissance.

À Madame le Docteur Nathalie PRIYMENKO

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Alimentation

Qui a accepté d'être l'assesseur de cette thèse,
Sincère reconnaissance.

À Ophélie THÉODON

Pour sa gentillesse et son aide précieuse
Sincère remerciement

Table des matières

1.	Nutrition chez le chien et le chat.....	21
1.1.	Caractéristiques anatomiques et digestives du chien et du chat.....	21
1.1.1.	La cavité buccale.....	21
1.1.2.	L'estomac.....	22
1.1.3.	L'intestin grêle, le pancréas et le foie.....	24
1.1.4.	Le colon et le cæcum.....	25
1.1.5.	Conclusion	26
1.2.	Digestion et métabolisme des principaux nutriments chez le chien et le chat.....	27
1.2.1.	La digestion des graisses	27
1.2.1.1.	Présentation des lipides d'intérêt nutritionnel	27
1.2.1.2.	Digestion et devenir des lipides absorbés.....	28
1.2.2.	La digestion des protéines.....	30
1.2.2.1.	Présentation des acides aminés d'intérêt nutritionnel.....	30
1.2.2.2.	Digestion et absorption des protéines	31
1.2.2.3.	Particularité du métabolisme protéique chez le chat	32
1.2.3.	La digestion des glucides	36
1.2.3.1.	Présentation des glucides d'intérêt nutritionnel.....	36
1.2.3.2.	Digestion et absorption des glucides	37
1.2.3.3.	Métabolisme des glucides : différence entre le chien et le chat.....	38
1.2.4.	Relation entre les glucides, les lipides et les protéines.....	40
1.2.5.	Besoins hydriques et alimentation chez le chien et le chat	41
1.2.6.	Présentation des minéraux d'intérêts nutritionnels chez le chien et le chat.....	41
1.2.6.1.	Le calcium.....	43
1.2.6.2.	Le phosphore.....	45
1.2.6.3.	Le magnésium.....	46
1.2.6.4.	Le potassium.....	46
1.2.6.5.	Le sodium et le chlore	47
1.2.6.6.	Le fer.....	47
1.2.6.7.	Le zinc	48
1.2.6.8.	Le cuivre.....	49
1.2.6.9.	Le manganèse.....	50

1.2.6.10.	Le sélénium.....	51
1.2.6.11.	L'iode	51
1.2.6.12.	Digestibilité des différents minéraux	52
1.2.7.	Présentation des vitamines d'intérêt nutritionnel chez le chien et le chat	53
1.2.7.1.	Les vitamines liposolubles et leurs particularités métaboliques et digestives chez le chien et le chat	54
1.2.7.1.1.	La vitamine A.....	54
1.2.7.1.2.	La vitamine D.....	54
1.2.7.1.3.	La vitamine E	55
1.2.7.1.4.	La vitamine K	55
1.2.7.2.	Les vitamines hydrosolubles et leurs particularités métaboliques chez le chien et le chat	56
1.2.7.2.1.	La thiamine (vitamine B1)	56
1.2.7.2.2.	La riboflavine (vitamine B2)	56
1.2.7.2.3.	La niacine (vitamine B3)	57
1.2.7.2.4.	L'acide pantothénique (vitamine B5)	57
1.2.7.2.5.	La vitamine B6	58
1.2.7.2.6.	L'acide folique (vitamine B9).....	58
1.2.7.2.7.	Biotine (vitamine B8).....	59
1.2.7.2.8.	La cobalamine (vitamine B12).....	59
1.2.7.2.9.	La vitamine C	60
1.2.7.3.	Conservation des vitamines lors des processus de fabrication et du stockage	60
1.2.8.	Conclusion : nutriments et particularités du chien, du chat et de l'homme.....	63
1.3.	Apports nutritionnels recommandés chez le chien et le chat.....	65
1.3.1.	Apports énergétiques recommandés.....	65
1.3.1.1.	Chez le chien.....	65
1.3.1.2.	Chez le chat	67
1.3.2.	Apports protéiques recommandés.....	68
1.3.2.1.	Méthode de détermination des apports protéiques	68
1.3.2.2.	Chez le chien.....	69
1.3.2.3.	Chez le chat	72
1.3.3.	Apports en matières grasses recommandés	74
1.3.3.1.	Chez le chien.....	74
1.3.3.2.	Chez le chat	75
1.3.4.	Apports recommandés en glucides	76

1.3.5.	Apports recommandés en minéraux.....	77
1.3.5.1.	Chez le chien.....	77
1.3.5.2.	Chez le chat	79
1.3.6.	Apports recommandés en vitamines	81
1.3.6.1.	Chez le chien.....	81
1.3.6.2.	Chez le chat	82
1.4.	Adaptations physiologiques des carnivores domestiques aux régimes modernes	84
1.4.1.	Le chien, un animal omnivore ?	84
1.4.2.	Le chat, un carnivore strict ?	85
2.	Présentation des différents régimes alimentaires non conventionnels les plus courants chez les carnivores domestiques	87
2.1.	Croquettes sans céréales.....	87
2.2.	Régime à base d'aliments crus	90
2.2.1.	Le régime BARF.....	90
2.2.2.	Le régime Whole Prey	91
2.2.3.	Produits BARF commercialisés et menus préconisés par des sites spécialisés.....	92
2.3.	Régime végan et végétarien	93
3.	Limites et intérêts nutritionnels de ces différents régimes	95
3.1.	Les croquettes sans céréales	95
3.1.1.	Apports nutritionnels : comparaison avec des croquettes conventionnelles.....	95
3.1.2.	Intérêts potentiels des aliments sans céréales	99
3.1.2.1.	Une meilleure digestibilité des croquettes sans céréales ?	99
3.1.2.1.1.	Chez le chat	99
3.1.2.1.2.	Chez le chien.....	100
3.1.2.2.	Une quantité moins importante de glucides dans les croquettes sans céréales ?	100
3.1.2.3.	Des allergies et intolérances potentielles au gluten ?.....	101
3.1.2.3.1.	Entéropathie due à une sensibilité au gluten chez les Setters Irlandais.....	102
3.1.2.3.2.	Influence du gluten chez les Soft Coated Wheaten Terrier souffrant d'entéropathies exsudatives ou de néphropathies avec pertes protéiques.....	103
3.1.2.3.3.	Effet positif d'un régime sans gluten chez des Borders Terriers atteint d'un Canine Epileptoid Cramping Syndrome (CECS) ou diskinésie paroxystique.....	103
3.1.2.3.4.	Allergie et intolérance alimentaires causées par le blé chez le chien.....	104
3.1.2.3.5.	Allergie et intolérance alimentaires causées par le gluten/ les céréales chez le chat	104

3.1.2.4.	Céréales, obésité et diabète :	105
3.1.2.4.1.	Glucides et céréales favorisent-ils l'obésité ?	105
3.1.2.4.2.	Céréales, glucides et diabète chez le chat.....	107
3.1.2.4.3.	Céréales, glucides et diabète chez le chien.....	109
3.1.2.5.	Une diminution des risques de contamination par les mycotoxines ?	109
3.1.2.5.1.	Les principales mycotoxines sécrétées par <i>Aspergillus</i> et <i>Penicillium</i>	110
3.1.2.5.2.	Les principales mycotoxines sécrétées par <i>Fusarium</i>	111
3.1.3.	Limites nutritionnelles des croquettes sans céréales	112
3.1.4.	Récapitulatifs des intérêts nutritionnels supposés des croquettes sans céréales.....	113
3.1.5.	Conclusion	114
3.2.	L'alimentation crue (régime BARF et assimilé)	115
3.2.1.	Apports nutritionnels : évaluation des caractéristiques d'un mélange industriel BARF et comparaison avec un aliment industriel classique	115
3.2.2.	Intérêts nutritionnels potentiels des régimes crus	119
3.2.2.1.	Une meilleure digestibilité et une amélioration des apports protéiques des produits crus comparés aux produits cuits ?.....	119
3.2.2.2.	Une diversification du microbiote fécal ?.....	121
3.2.2.3.	Une diminution du risque de calculs d'oxalate de calcium ?	122
3.2.2.4.	Une amélioration de l'hygiène bucco dentaire ?	122
3.2.2.5.	Un meilleur apport en créatine et créatinine ?.....	123
3.2.3.	Limites nutritionnelles potentielles de l'alimentation BARF.....	123
3.2.3.1.	Déséquilibres nutritionnels	123
3.2.3.1.1.	Problème d'apport en calcium et phosphore : hyperparathyroïdisme secondaire	124
3.2.3.1.2.	Risque d'hypervitaminose A.....	125
3.2.3.2.	Un risque potentiel d'une alimentation hyper protéinée ?	125
3.2.3.3.	Des contaminations par des pathogènes et des risques zoonotiques ?	126
3.2.3.3.1.	Contaminations bactériennes et excrétion	126
3.2.3.3.2.	Résistances aux antibiotiques des agents pathogènes excrétés.....	130
3.2.3.3.3.	Risque de transmission de la maladie d'Aujeszky ou pseudo rage	131
3.2.3.3.4.	Contaminations parasitaires	131
3.2.3.4.	Facteurs anti-nutritionnels présents dans les régimes BARF	132
3.2.3.4.1.	Avidine et inhibiteur de la trypsine dans l'œuf cru	132
3.2.3.4.2.	Poissons crus et thiaminases.....	132
3.2.3.4.3.	Légumineuses, tanins, acide phytique et glycoside cyanogéniques	133

3.2.3.5.	Risque de corps étrangers digestifs ou de fracture dentaire	133
3.2.3.6.	Risque d'hyperthyroxinémie	134
3.2.4.	Conclusion	134
3.3.	Les régimes végétariens et/ou végans	136
3.3.1.	Apports nutritionnels : comparaison entre des croquettes végétariennes et des croquettes conventionnelles.....	136
3.3.2.	Intérêts nutritionnels potentiels des régimes végétariens	141
3.3.2.1.	Est-il possible de nourrir des chiens avec un régime végétarien équilibré ?	141
3.3.2.2.	Est-il possible de nourrir un chat avec un régime végétarien équilibré ?	142
3.3.2.3.	Utilisation des régimes végétariens en cas d'allergie alimentaire	142
3.3.3.	Limites nutritionnelles des régimes végétariens.....	143
3.3.3.1.	Déficit d'apports protéiques et profils d'acides aminés inadéquats.....	143
3.3.3.1.1.	Carences en arginine	146
3.3.3.1.2.	Carence en acides aminés soufrés	146
3.3.3.1.3.	Carences en tryptophane	147
3.3.3.1.4.	Carences en taurine	147
3.3.3.1.5.	Carences en L-carnitine	148
3.3.3.1.6.	Différence de digestibilité entre les protéines végétales ou animales	149
3.3.3.2.	Déficit en acides gras essentiels	149
3.3.3.3.	Apports en glucides importants par rapport aux apports protéiques	151
3.3.3.4.	Déficit en minéraux	151
3.3.3.4.1.	Carences en calcium et phosphore	152
3.3.3.4.2.	Autres carences en minéraux.....	153
3.3.3.5.	Déficit en vitamines.....	154
3.3.3.5.1.	Carences en vitamine D3 chez le chien et le chat	154
3.3.3.5.2.	Carences en vitamine B12	154
3.3.3.5.3.	Carences en vitamine A.....	155
3.3.3.6.	Est-il possible de réaliser une ration ménagère végétarienne ou végane ?.....	155
3.3.3.7.	Alcalinisation urinaire et risque d'urolithiase	159
3.3.4.	Conclusion	159
4.	Origines sociétales des régimes non conventionnels.....	163
4.1.	Répartition de l'utilisation des différents régimes alimentaires.....	163
4.2.	Analogie avec les tendances alimentaires humaines.....	164
4.2.1.	Régime « paléolithique » et analogie avec le régime BARF	164

4.2.2.	Régime sans gluten.....	165
4.2.3.	Régime végétarien/végan	166
4.3.	Raisons poussant les propriétaires à choisir ces modes d'alimentations alternatifs.....	166
4.3.1.	Régime BARF : motivations des propriétaires.....	166
4.3.2.	Régime végétarien et végan pour les carnivores domestiques : le dilemme des propriétaires végétariens de carnivores domestiques.....	167
4.3.3.	Méfiance envers les vétérinaires dans le domaine de la nutrition	168
4.3.4.	Anthropomorphisme, conviction et choix du régime alimentaire	168
4.3.5.	Respect du bien-être animal ?.....	170
4.3.6.	Conclusion	171

Table des figures

<i>Figure 1 : Dentition physiologique du chien et du chat adulte (d'après Aspinall, Cappello, 2015)</i>	<i>21</i>
<i>Figure 2 : Tractus digestif du chien (d'après Aspinall et al., 2015).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 3 : Cascade des éicosanoïdes adaptation (d'après Thatcher et al., 2010).....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 4 : Digestion et absorption des lipides.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 5 : Synthèse de la taurine, métabolisme simplifié</i>	<i>33</i>
<i>Figure 6 : Synthèse des acides biliaires chez le chien</i>	<i>33</i>
<i>Figure 7 : Cycle de l'urée</i>	<i>34</i>
<i>Figure 8 : Synthèse de l'arginine dans les différents organes de l'organisme (ARG = arginine ; GLU = Glutamate ; CIT = Citrulline ; ORN = Ornithine ; GLN = glutamine ; GLNase = glutaminase ; OAT = ornithine amino transférase ; OCT = ornithine citrulline transférase ; ARGase = arginase ; ASS = arginosuccinate synthétase ; ASL = argininosuccinate lyase) (d'après Cynober et al., 2010)</i>	<i>34</i>
<i>Figure 9 : Digestion et absorption des glucides (d'après Verbrugghe et al., 2017).....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 10 : Métabolisme des glucides chez le chat (d'après Verbrugghe et al., 2017)</i>	<i>39</i>
<i>Figure 11 : Relation entre les lipides, les protéines et les glucides</i>	<i>40</i>
<i>Figure 12 : Mécanisme de régulation de la calcémie</i>	<i>44</i>
<i>Figure 13 : Absorption et utilisation du fer (d'après Kaneko et al., 2008).....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 14 : Absorption du manganèse et du sélénium (d'après Engelking, 2015, p. 321)</i>	<i>50</i>
<i>Figure 15 : Synthèse de la niacine chez les mammifères.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 16 : Exemple de quelques repas BARF pour un chien (d'après Tribu carnivore, 2014).....</i>	<i>92</i>

Table des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des différences anatomiques digestives entre les carnivores domestiques et l'homme (d'après Reece et al., 2017 ; Marshall et al., 1993)	26
Tableau 2 : Récapitulatif des principaux rôles des minéraux chez le chien et le chat (Thatcher et al., 2010)	42
Tableau 3 : Coefficients d'utilisation digestive des minéraux chez le chien et le chat	52
Tableau 4 : Sensibilité des différentes vitamines à la lumière, la chaleur et l'oxydation (Jadot, 1994)	61
Tableau 5 : Perte de vitamine en pourcentage durant la fabrication et le stockage de pâtée pour chat et pour chien (d'après Thatcher et al., 2010)	61
Tableau 7 : Perte de vitamine en pourcentage durant la fabrication et le stockage de croquettes pour chat et pour chien (d'après Thatcher et al., 2010)	62
Tableau 8 : Comparaison des principales différences nutritives entre l'homme, le chien et le chat	63
Tableau 8 : Facteurs raciaux influant sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)	65
Tableau 10 : Facteurs comportementaux influant sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)	66
Tableau 11 : Influence des différents stades physiologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)	66
Tableau 12 : Influence des facteurs pathologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)	66
Tableau 13 : Facteurs raciaux influant sur l'apport énergétique du chat (d'après National Research Council, 2006)	67
Tableau 14 : Influence des différents stades physiologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)	67
Tableau 15 : Influence des facteurs pathologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)	68
Tableau 16 : Apports recommandés en protéine et en différents acides aminés selon la FEDIAF 2017 en grammes par Mcal pour le chien	70
Tableau 17 : Apports recommandés en protéine et différents acides aminés selon l'AAFCO en 2014 en grammes par Mcal pour le chien	71
Tableau 18 : Apports recommandés en protéine et différents acides aminés selon la NRC en 2006 en grammes par Mcal pour le chien (MR = minimal recommandé ; AR = apports recommandés)	71
Tableau 19 : Apports en différents acides aminés selon la FEDIAF en 2017 en grammes par Mcal pour le chat	72
Tableau 20 : Apports en différents acides aminés selon l'AAFCO en 2014 en grammes par Mcal pour le chat	73
Tableau 21 : apports en différents acides aminés selon le NRC en 2006 en grammes par Mcal pour le chat (MR : minimum recommandé ; AR = apport recommandé)	73
Tableau 22 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF	74
Tableau 23 : Apports recommandés en acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chien selon l'AAFCO	74

Tableau 24 : Apports recommandés en acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chien selon le NRC	75
Tableau 25 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chat selon la FEDIAF	75
Tableau 26 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chat selon l'AAFCO	76
Tableau 27 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chat selon le NRC.....	76
Tableau 28 : Minima recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF	77
Tableau 29 : Maxima recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF	77
Tableau 30 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon l'AAFCO	78
Tableau 31 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon le NRC ..	78
Tableau 32 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chat selon la FEDIAF	79
Tableau 33 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chat selon l'AAFCO .	79
Tableau 34 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chat selon le NRC (MR : Minimum recommandé ; AR = apports recommandés).....	80
Tableau 35 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF	81
Tableau 36 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon l'AAFCO	81
Tableau 37 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon le NRC .	82
Tableau 38 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF	82
Tableau 39 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chat selon l'AAFCO.	83
Tableau 40 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chat selon le NRC...	83
Tableau 41 : Exemple de menu pour un chien sur deux semaines en suivant le modèle Whole Prey...	91
Tableau 42 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un paquet de croquette classique et d'un paquet de croquette sans céréales et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chien.....	96
Tableau 43 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un paquet de croquette classique et d'un paquet de croquettes sans céréales et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, le NRC et l'AAFCO chez le chat.....	98
Tableau 44 : Différence de toxicité des différentes céréales pour les personnes	102
Tableau 45 : Récapitulatif des intérêts nutritionnels des croquettes sans céréales.....	113
Tableau 46 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un aliment humide et d'un aliment BARF et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chat	116
Tableau 47 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un aliment humide et d'un aliment BARF et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chien	118
Tableau 48 : Récapitulatif de des intérêts et des limites nutritionnels des régimes à base de viande crue	134
Tableau 49 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'une référence de croquettes véganes et d'une référence de croquette classique et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chien.....	137

<i>Tableau 50 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'une référence de croquettes véganes et d'une référence de croquettes classique et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chat</i>	140
<i>Tableau 51 : Comparaison des apports en acides aminés de différentes sources protéiques (d'après National Research Council, 2006)</i>	143
<i>Tableau 52 : Apports recommandés en acides aminés pour un chat et un chien de poids moyen (d'après National Research Council, 2006)</i>	144
<i>Tableau 53 : Profil idéal en acides aminés (relatif à la lysine) pour le chien et pour le chat et comparaison avec quelques ingrédients utilisés en alimentation animale (d'après Baker et al., 1991)</i>	144
<i>Tableau 54 : Composition de différentes huiles en acides gras essentiels (d'après Thatcher et al., 2010)</i>	150
<i>Tableau 55 : Comparaison des apports en minéraux de différents ingrédients utilisés en alimentation animale et comparaison avec les recommandations pour le chien et le chat (National Research Council, 2006)</i>	152
<i>Tableau 56 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'une recette végane et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, le NRC et l'AAFCO chez le chien</i>	157
<i>Tableau 57 : Comparaison des éléments du métabolisme, de l'anatomie et des apports recommandés en nutriments chez l'homme, le chien et le chat pouvant poser problème dans l'équilibre d'une ration végétarienne ou végane (d'après ANSES, 2016 ; National Research Council, 2006 ; AFSSA, 2007 ; Marshall et al., 1993)</i>	160

Liste des abreviations

25-OHD₃ : 25-hydroxyvitamine D3
25-OHD₂ : 25-hydroxyvitamine D2
AAFCO : American Association of Feed Control Officials
ADN : Acide DesoxyriboNucléique
AMY2B : α-Amylase 2B
ARN : Acide RiboNucléique
ATP : Adénosine TriPhosphate
ATPase : Adénosine Triphosphatase
BARF : Biologically Appropriate Raw Food ou Bone and Raw Food
BEE : Besoin Energétique à l'Entretien
CECS : Canine Epileptoid Cramping Syndrome
CUD : Coefficient d'Utilisation Digestive
DHA : Acide docosahexaénoïque
EHEC : Escherichia coli entérohémorragique
EPA : Acide éicosapentaénoïque
FEDIAF : Fédération Européenne de l'Industrie des Aliments pour Animaux Familiers
GABA : Acide γ-aminobutyrique
G6P : Glucose-6-Phosphate
G6PD : Glucose-6-Phosphate Déshydrogénase
GKRP : Glucokinase Regulatory Protein
MGAM : Malatase - Glucoamylase
NRC : National Research Council
OTA : Ochratoxines A
PPAR : Proliférateur de Peroxysomes
SGLT1 : Sodium/Glucose coTransporter 1
T1R3 : Taste 1 Receptor member 3
T1R2 : Taste 1 Receptor member 2
T4 : 3,5,3',5'-tétraïodothyronine
T3 : 3,5,3'-triiodothyronine
VLDL : Very Low Density Lipoprotein
ZEA : Zéaralénone

Introduction

En 2017, 13,5 millions de français déclaraient posséder un chat et 7,3 millions un chien. Ces animaux de compagnie prennent une place de plus en plus importante dans la vie de leur propriétaire. Il n'est donc pas surprenant de constater que depuis quelques années, un intérêt croissant est apporté par les propriétaires à l'alimentation de leur chien et leur chat. Ainsi de plus en plus de médias (sites internet, reportages télévisés) tentent avec plus ou moins de succès de décrypter la composition des différents aliments disponibles sur le marché. Ces informations parfois faussement alarmistes tendent à pousser les consommateurs vers des régimes alimentaires alternatifs. En effet, ces dernières années, de nouvelles tendances alimentaires pour les carnivores domestiques sont apparues et se sont développées : croquettes sans céréales, bio, sans gluten, alimentation à base de viande crue, croquettes végétariennes ou végétaliennes. Les propriétaires sont à la recherche de l'aliment qu'ils considèrent comme le plus sain et le plus naturel pour leurs animaux. Des choix diamétralement opposés sont ainsi réalisés par certains propriétaires. Alors qu'une partie d'entre eux se tournent vers une alimentation à base d'os et de viande crue dans le but de reproduire l'alimentation du loup ou du chat sauvage, d'autres à l'opposé, se dirigent vers une alimentation exclusivement végétale la plupart du temps pour des raisons éthiques. De plus en plus d'études se penchent sur ces différents régimes et leur impact sur la santé des animaux mais aussi sur celle de leur propriétaire.

Ce travail s'intéresse plus particulièrement à trois régimes alternatifs en vogue chez les carnivores domestiques : les croquettes sans céréales, l'alimentation à base de viande crue et d'os (régime BARF) et les croquettes végétariennes/véganes. Nous nous demanderons si ces différents régimes alternatifs respectent les besoins nutritionnels des carnivores domestiques. Quelle en est l'origine et pourquoi les propriétaires délaissent-ils les aliments traditionnels au profit de ces nouveaux régimes parfois au détriment de la santé de leurs animaux de compagnie ?

Nous commencerons par rappeler les particularités physiologiques digestives et métaboliques du chien et du chat ainsi que les apports nutritionnels essentiels à leur bonne santé. Puis nous nous interrogerons sur les avantages et les limites nutritionnels de chacun de ces régimes pour essayer d'en évaluer l'intérêt ou la potentielle dangerosité. Nous tenterons finalement de comprendre l'origine et l'engouement pour ces régimes alternatifs.

1. Nutrition chez le chien et le chat

1.1. Caractéristiques anatomiques et digestives du chien et du chat

1.1.1. La cavité buccale

La première étape de la nutrition commence par la préhension et la mastication des aliments dans la cavité buccale.

La dentition du chien est composée de 42 dents à l'âge adulte, sa formule dentaire est la suivante : I 3/3 ; C 1/1 ; P 4/4; M 2/3 avec I = incisives, C=canines, P= prémolaires, M= molaires (figure 1). Les premières dents déciduales apparaissent dès l'âge de 3 semaines par l'éruption des incisives. Les dernières dents déciduales mises en place sont les prémolaires qui poussent jusqu'à l'âge de 8 semaines. Les dents définitives apparaissent à l'âge d'environ 4 mois et leur mise en place se termine à l'âge de 7 mois.

Le chat adulte possède une dentition différente du chien à l'âge adulte. Le chat adulte possède 30 dents, sa formule dentaire est la suivante : I 3/3; C 1/1, P 3/2, M 1/1 (figure 1). Les dents déciduales apparaissent entre 2 et 4 semaines. Les dents définitives du chat apparaissent vers 4 mois et terminent leur mise en place vers l'âge de 6 mois (Aspinall et al., 2015 ; Reece et al., 2017).

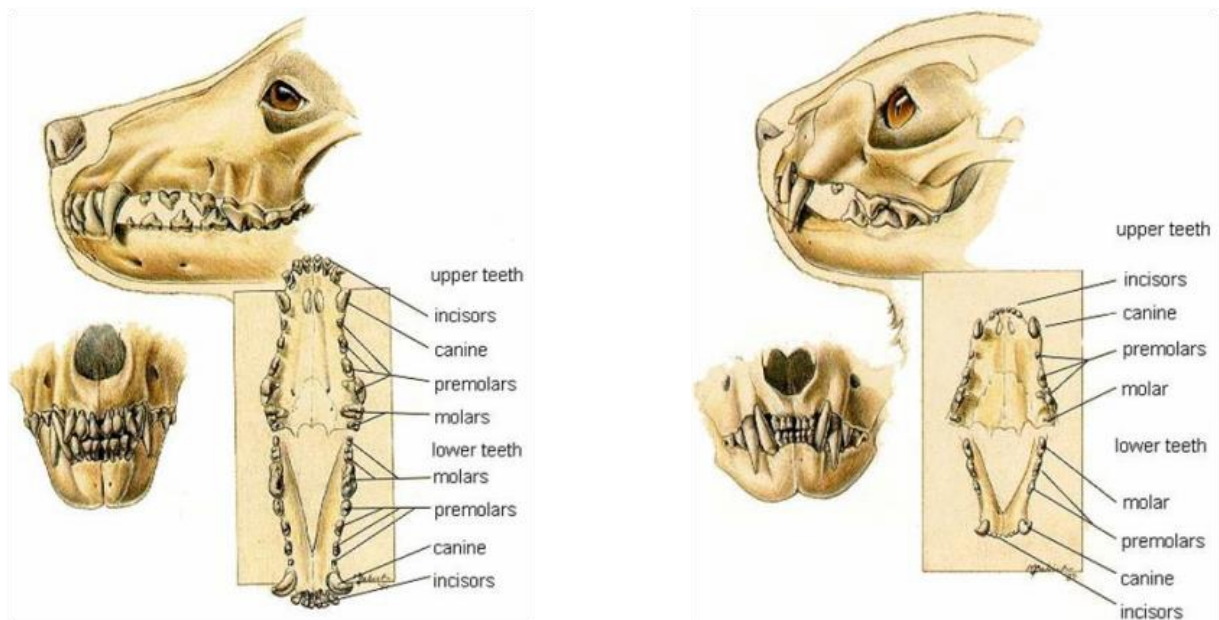


Figure 1 : Dentition physiologique du chien et du chat adulte (d'après Aspinall, Cappello, 2015)

Chez le chien comme chez le chat, les incisives permettent de couper les aliments facilement. Les canines sont très pointues et permettent la saisie des proies. Les prémolaires permettent aux carnivores d'arracher la chair des os par la réalisation d'un mouvement de

ciseaux ; la partie plate de la prémolaire permet de broyer les aliments et donc de faciliter la future digestion. Parmi ces prémolaires, une dent est spécifique des carnivores : la carnassière. Située à la commissure des lèvres, c'est la plus puissante des dents. Les molaires apparaissent seulement lors de la mise en place de la dentition permanente, elles coupent et écrasent les aliments (Aspinall et al., 2015).

La mâchoire des carnivores est capable de mouvements verticaux et de cisaillements, mais contrairement à celles des herbivores, est incapable de réaliser des mouvements latéraux qui permettent le broiement des aliments.

Le chat possède moins de molaires et de prémolaires que le chien, il avale sans avoir à mâcher sa nourriture, contrairement au chien. Sa dentition est plutôt conçue pour l'arrachement de la viande des os ainsi que la préhension des proies et peu pour broyer les aliments.

La salive du chien comme du chat est composée à 99 % d'eau et 1 % de mucus, elle permet de lubrifier les aliments qui sont peu broyés et rend la mastication plus aisée. Elle joue aussi un rôle dans la thermorégulation chez les carnivores. Le chien produit en moyenne 0,1 à 0,4 L de salive par jour, soit environ 100 fois moins que les herbivores, dont l'alimentation est beaucoup plus rugueuse et sèche que celle des carnivores. Chez le chat et le chien on retrouve dans la salive des traces d' α -amylase dont l'activité est cependant très limitée (Contreras-Aguilar et al., 2017), contrairement aux omnivores et herbivores, chez qui l'amylase salivaire a une activité importante qui permet de commencer la digestion de l'amidon.

1.1.2. L'estomac

Le bol alimentaire passe ensuite dans le pharynx et l'œsophage, puis atteint l'estomac via le cardia (figure 2).

Les carnivores possèdent un estomac simple quasiment complètement glandulaire, contrairement aux herbivores et aux omnivores. L'estomac permet le stockage des aliments et la mise en contact du bol alimentaire avec le suc gastrique. C'est le plus gros compartiment digestif en termes de volume chez les carnivores domestiques : il représente 62 % du volume total chez le chien et 69 % chez le chat (Reece et al., 2017). La digestion protéique y débute.

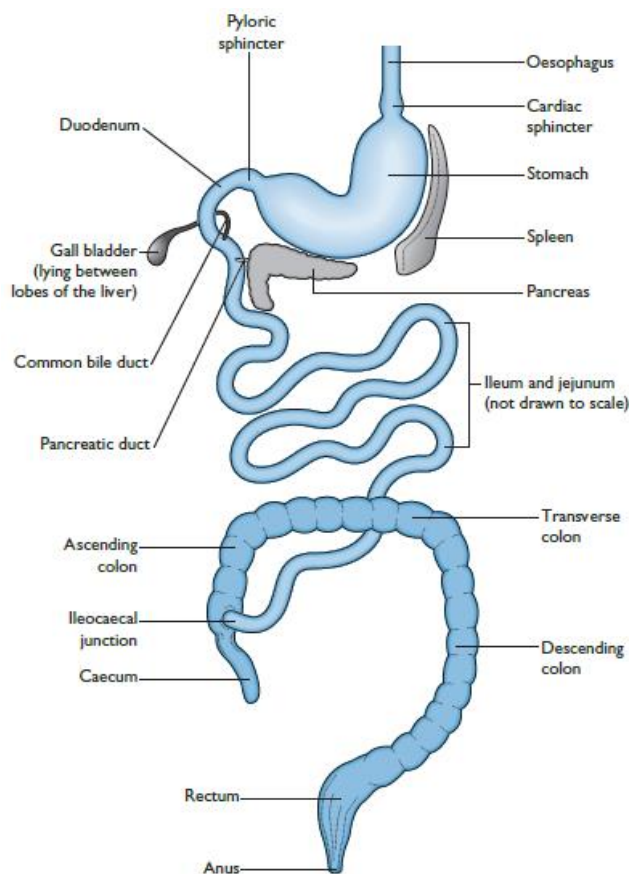


Figure 2 : Tractus digestif du chien (d'après Aspinall et al., 2015)

Les sucs gastriques sont composés d'eau, de sels minéraux, d'acide chlorhydrique, d'enzymes protéolytiques et de mucus. Ils sont sécrétés par quatre types de cellules :

- les cellules principales ou bordantes, qui permettent la sécrétion de pepsinogène (précurseur de la pepsine) ;
- les cellules pariétales, qui sécrètent de l'acide chlorhydrique (HCl) permettant l'obtention d'un pH acide nécessaire à l'activation du pepsinogène en pepsine ;
- les mucocytes qui sécrètent le mucus permettant la lubrification du bol alimentaire et la protection de la muqueuse gastrique de l'acidité et de l'autodigestion ;
- les cellules argentaffines ou endocrinocytes gastro-intestinaux sécrètent des hormones gastro-intestinales (gastrine, sécrétine, cholecystokinine-pancréozymine, somatostatine...), qui jouent un rôle important dans la régulation du transit digestif, la sensation de la satiété et la régulation de la sécrétion des glandes digestives annexes et du pH stomacal (Reece et al., 2017).

Le chien et le chat présentent deux types de prises alimentaires différentes. Le chien, tout comme son ancêtre commun avec le loup, peut consommer un repas important puis rester à jeun plusieurs heures, voire plusieurs jours. Ce mode de prise alimentaire est notamment dû au fait que ses ancêtres chassaient en meute des proies de grande taille et l'estomac du chien est très extensible - il peut contenir 1 à 9 litres d'aliments - (Nickel et al., 1979). Au contraire, le chat réalise plutôt de petits repas à intervalles réguliers, ce mode de

prise alimentaire trouve son origine dans celui des chats sauvages qui sont des chasseurs solitaires et doivent chasser plusieurs proies de petite taille par jour pour se nourrir (Bradshaw, 2006).

Le temps de vidange gastrique totale est variable selon le type de nourriture : il peut varier de 6 heures à 10 heures selon la consistance de l'aliment et le taux de matière grasse (Weber, 2002).

Le chyme passe ensuite dans l'intestin grêle, qui est court chez les carnivores comparé aux herbivores et aux omnivores : le transit y est donc beaucoup plus rapide. En effet, chez le chien, l'intestin grêle mesure en moyenne 4 mètres et représente 23 % du volume total du tractus digestif. Chez le chat, il est en moyenne deux fois plus court (1,7 m en moyenne) et représente 15 % du volume totale du tractus digestif. Le chat présente un ratio longueur de l'intestin sur longueur de l'animal égal à 3 contre 4 ou 5 chez le chien. Par comparaison, un herbivore monogastrique tel que le cheval présente un ratio longueur de l'intestin sur longueur de l'animal de 9 (Marshall et al., 1993 ; Reece et al., 2017).

1.1.3. L'intestin grêle, le pancréas et le foie

Le chyme passe ensuite dans l'intestin grêle via le pylore. Dans l'intestin grêle, se déroule la majeure partie de la digestion et de l'absorption des nutriments chez le chien et le chat. Le duodénum reçoit le canal pancréatique et le canal cholédoque menant à la vésicule biliaire. Chez le chat, le canal cholédoque et le canal pancréatique possèdent une partie commune qui débouche par une papille commune au niveau du duodénum, contrairement au chien, chez qui les deux canaux sont bien distincts. Le pancréas sécrète des enzymes digestives et des bicarbonates dans le duodénum. Le bicarbonate tamponne le pH acide du chyme et permet ainsi d'obtenir le pH optimal pour l'action des autres enzymes digestives sécrétées par le pancréas (Aspinall et al., 2015).

Le pancréas sécrète les enzymes digestives suivantes :

- le trypsinogène activé en trypsine par l'entérokinase présente dans le suc digestif et qui permet la lyse de certaines liaisons peptidiques ;
- des aminopeptidases, qui permettent le clivage des protéines présentes dans l'alimentation libérant des acides aminés ;
- les lipases activées par les sels biliaires, qui permettent la conversion des graisses en acides gras et glycérol ;
- l'amylase, qui permet la digestion de l'amidon et le convertit en maltose ;
- des disaccharidases : maltase, sucrase, lactase, isomaltase, qui permettent la formation de monosaccharides (Reece et al., 2017).

Le foie sécrète les acides biliaires, qui sont stockés dans la vésicule biliaire. Ces acides biliaires sont déversés dans l'intestin grêle via le canal cholédoque et sont nécessaires à la digestion des graisses.

Le temps de transit dans l'intestin grêle est estimé à 1 à 2 heures chez le chien et le chat. Ce temps de transit est beaucoup plus élevé chez les herbivores. Ces différences s'expliquent par une longueur de l'intestin plus petite chez les espèces carnivores et plus adaptée à la digestion des aliments d'origine animale qu'à celle des végétaux riches en fibres ainsi qu'à une différence d'absorption et d'appareil enzymatique au niveau des entérocytes (Weber, 2002).

1.1.4. Le colon et le cæcum

La dernière étape de la digestion a lieu dans le gros intestin. Il est divisé en deux parties chez les mammifères: le cæcum, qui chez les carnivores ne présente aucune fonction et est de taille très réduite (contrairement aux herbivores chez qui, il permet une partie de la digestion des végétaux via l'action des bactéries et la fermentation), et le colon. C'est au niveau du colon que sont réabsorbés l'eau, les vitamines et les électrolytes. Les bactéries qui y sont présentes fermentent les éléments qui n'ont pas été digérés précédemment dans l'intestin grêle (en particulier les fibres). La fermentation permet la formation d'acides gras (acide acétique, butyrique et propionique). Pour le chien et le chat, contrairement aux herbivores, cette fermentation est une source négligeable d'énergie. En effet, chez certains herbivores monogastriques comme le cheval, la fermentation dans le gros intestin permet de combler 75 % des besoins en énergie (Reece et al., 2017). Cependant, chez les carnivores domestiques les acides produits lors de la fermentation coliques sont essentiels à la nutrition des entérocytes locaux mais ne sont pas utilisés pour combler les besoins énergétiques de l'animal. Les fibres solubles et insolubles sont donc essentielles au transit et à la bonne santé digestive des carnivores même si elles ne sont pas une source d'énergie.

Le temps de transit colique est très élevé et est estimé à une douzaine d'heures chez le chien. Ce long séjour permet la réabsorption de l'eau et de minéraux. En cas de temps de séjour colique diminué, on observe des selles beaucoup plus molles voire liquides (Weber, 2002).

1.1.5. Conclusion

Les carnivores domestiques présentent des différences anatomiques marquées avec l'homme (tableau 1). En effet, la dentition des carnivores est plus adaptée à la préhension et au déchiquètement de la nourriture qu'à la mastication (molaires peu développées), au contraire de l'homme chez qui la quantité de molaires plus importante permet une mastication des aliments. De plus, la nature carnivore du chien et du chat est marquée par un estomac qui est le compartiment digestif le plus important en termes de volume alors qu'au contraire, l'intestin grêle et le colon sont de taille réduite. En comparaison, l'homme présente un estomac plus réduit et un intestin grêle beaucoup plus développé et adapté à son régime alimentaire omnivore. Ces différences anatomiques entre l'homme et les carnivores domestiques expliqueront en partie pourquoi certains régimes alimentaires alternatifs sont beaucoup plus faciles à mettre en place chez l'homme que chez le chien ou le chat.

	Chien	Chat	Homme
Formule dentaire	I 3/3 ; C 1/1 ; P 4/4 ; M 2/3	I 3/3 ; C1/1 ; P 3/2 ; M 1/1	I 2/2 ; C 1/1 ; P 2/2 ; M 3/3
Volume de l'estomac	1 à 9 L	0,18 à 0,36 L	0,5 à 4 L
Volume de l'estomac / volume de l'ensemble du tube digestif	62 %	69 %	29 %
Longueur moyenne de l'intestin grêle	3,9 m	1,7 m	7,0 m
Volume de l'intestin grêle / volume de l'ensemble du tube digestif	23 %	15 %	37 %
Longueur moyenne du colon	0,6 m	0,4 m	1,8 m
Temps de transit digestif moyen	12 à 30 h	12 à 24 h	30 h à 5 jours

Tableau 1 : Comparaison des différences anatomiques digestives entre les carnivores domestiques et l'homme (d'après Reece et al., 2017 ; Marshall et al., 1993)

1.2. Digestion et métabolisme des principaux nutriments chez le chien et le chat

Les nutriments nécessaires à l'alimentation du chien et du chat peuvent être divisés en deux catégories :

- les macronutriments : l'eau, les glucides, les protéines, les lipides ;
- les micronutriments : les minéraux et les vitamines.

1.2.1. La digestion des graisses

1.2.1.1. Présentation des lipides d'intérêt nutritionnel

Les lipides sont des composés hautement énergétiques. Ils sont présents dans l'alimentation des carnivores domestiques sous plusieurs formes : triglycérides, phospholipides, acides gras, cholestérol... Ces lipides ont pour rôle principal d'apporter de l'énergie, mais sont aussi essentiels à la croissance, à la bonne santé de la peau et du pelage, à l'agrégation plaquettaire, aux fonctions de reproduction, au bon développement neurologique, à la bonne santé des cartilages et modulent l'immunité. Ils sont également indispensables à l'absorption des vitamines liposolubles et possèdent des propriétés anti-inflammatoires. Ils influent sur le métabolisme lipidique, l'inflammation, la croissance et la différenciation cellulaire en se liant avec les récepteurs activés par les proliférateurs de peroxysomes (PPAR) qui agissent comme facteurs de transcriptions (Poulsen et al., 2012).

Ces graisses lorsqu'elles sont en excès dans le régime alimentaire sont stockées, en majorité, sous forme de triglycérides dans les adipocytes (Thatcher et al., 2010 ; National Research Council, 2006)

Certains acides gras doivent absolument être apportés dans l'alimentation car ils ne sont pas synthétisés par le chien et le chat : ce sont les acides gras essentiels. Les acides gras essentiels pour le chat et le chien (et pour les mammifères en général) sont les omégas 3 (acides gras comprenant une double liaison entre le 3^e et le 4^e carbone) et les omégas 6 (acide gras comprenant une double liaison entre les 6^e et 7^e carbone). Il faut donc un apport alimentaire obligatoire d'acide linoléique (chef de file des omégas 6) et d'acide α -linoléique (chef de file des omégas 3) pour les carnivores domestiques. À partir de ces deux acides gras essentiels, le chien est capable de synthétiser l'ensemble des omégas 3 et 6 via l'activité de deux types d'enzymes : les élongases et les désaturases.

Il n'en est pas de même chez le chat. En effet, l'activité de la delta-6-désaturase est, chez le chat, inexistante (Rivers et al., 1976), de même que l'activité de l'élongase et de la delta-5-désaturase qui est très faible chez le chat comparé au chien (figure 3). De ce fait, le chat a besoin d'apports en acide arachidonique et, étant donné la faible activité de certaines

enzymes, des apports en acide éicosapentaénoïque (EPA) et en acide docosahexaénoïque (DHA) sont recommandés.

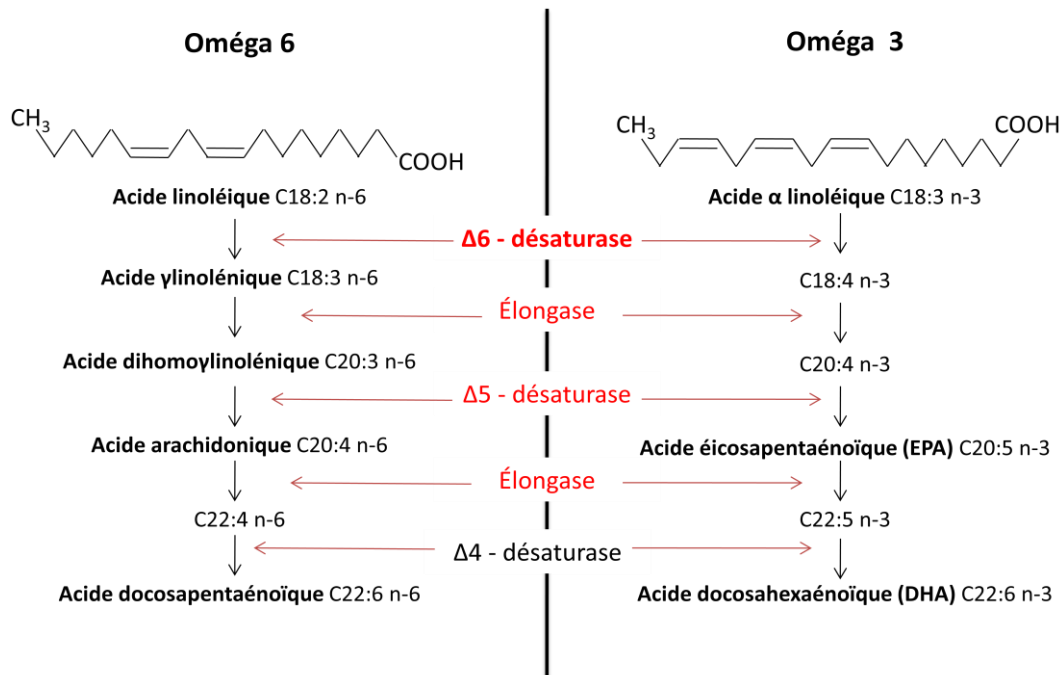


Figure 3 : Cascade des éicosanoïdes adaptation (d'après Thatcher et al., 2010)

Les apports nécessaires en acides gras essentiels sont donc plus importants chez le chat que chez le chien.

1.2.1.2. Digestion et devenir des lipides absorbés

L'essentiel de la digestion des lipides a lieu dans la partie proximale de l'intestin grêle. Les triglycérides ingérés sont hydrolysés partiellement par la lipase gastrique pour former des diglycérides ou des monoglycérides. Dans le duodénum, les mono et diglycérides précédemment formés, s'associent avec les phospholipides et les sels biliaires pour former des micelles. Cette émulsification permet l'action de la lipase et de la colipase pancréatique qui hydrolysent les triglycérides et entraînent la formation de deux monoacyl-glycérides et d'acides gras non estérifiés (figure 4). L'ensemble de ces éléments forme une solution micellaire qui permet le transport des matières grasses jusqu'à la bordure en brosse de l'intestin. L'absorption a lieu par simple diffusion. Les triglycérides sont reformés dans les entérocytes à partir des acides gras non estérifiés et de deux monoacylglycérides. Ils s'associent au cholestérol, aux phospholipides et aux apolipoprotéines pour former des chylomicrons qui entrent ensuite dans le système lymphatique.

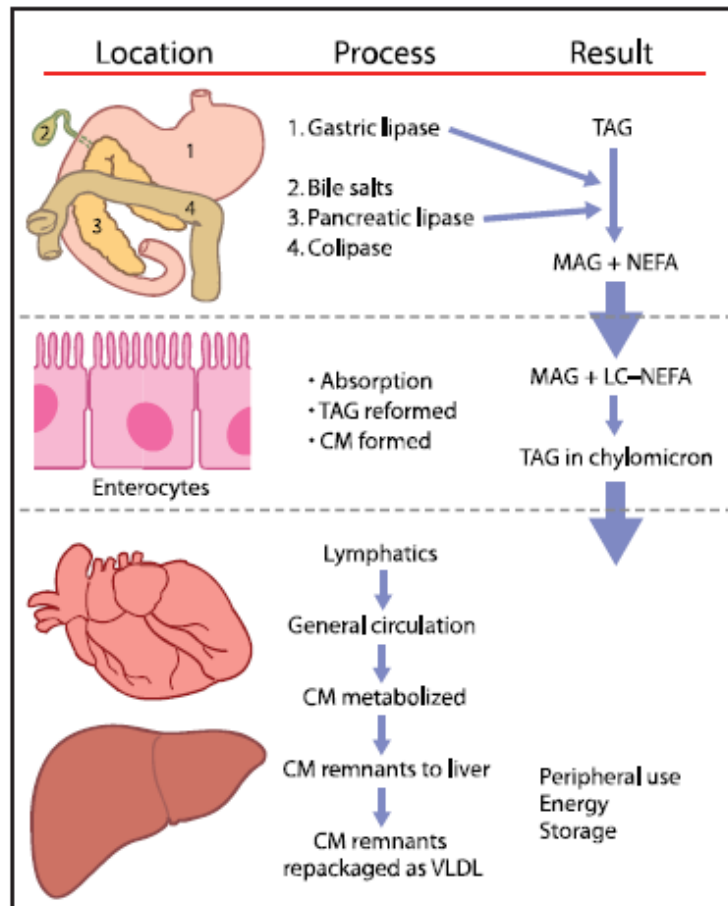


Figure 4 : Digestion et absorption des lipides chez les mammifères (d'après Thatcher et al., 2010).

TAG = triglycérides ; MAG = monoacylglycéride ; NEFA = acide gras non estérifiés ; LC-NEFA = acides gras non estérifiés à longue chaîne ; CM = chylomicron ; VLCL = lipoprotéine de très faible densité

Le pancréas sécrète aussi de la cholestérol estérase, qui hydrolyse les esters de cholestérol et des phospholipases A2, qui permettent la digestion des phospholipides. Ces enzymes sont aussi activées après émulsification des graisses avec les sels biliaires. Les lipides sont pris en charge au niveau du foie.

Les tryglycérides via le système lymphatique rejoignent la circulation sanguine générale et sont distribués à l'ensemble des tissus. Les triglycérides qui n'ont pas été prélevés par les tissus rejoignent le foie où ils sont hydrolysés en glycérol et acides gras estérifiés. Ces acides gras estérifiés sont, soit utilisés dans les mitochondries pour la β -oxydation, soit utilisés pour la reformation de triglycérides et de VLDL (Very Low Density Lipoprotein), qui permettent l'utilisation ou le stockage des graisses par les tissus périphériques (Reece et al., 2017 ; Thatcher et al., 2010).

Les lipides peuvent être utilisés par les différents tissus de l'organisme comme source d'énergie exception faite du cerveau et des éléments figurés sanguins qui ne sont pas capables d'utiliser les acides gras comme source d'énergie et requièrent impérativement un apport en glucose pour leur bon fonctionnement.

Les acides biliaires formés par le foie sont conjugués avec un élément organique, ce qui permet une augmentation de leur hydrosolubilité, et évite leur réabsorption passive une fois présents dans la lumière intestinale. Cette conjugaison est donc essentielle à la réalisation de leur fonction : la digestion des graisses. Le chien et le chat sont capables de conjuguer les acides biliaires avec la taurine. Le chien est aussi capable de les conjuguer avec un deuxième composé : la glycine. Ce n'est pas le cas du chat, chez qui la conjugaison dépend uniquement de la taurine (Da Costa et al., 1990).

1.2.2. La digestion des protéines

Les protéines sont des polymères linéaires d'acides aminés. Elles sont les principaux constituants de l'organisme (collagène et élastine, protéines contractiles dans les muscles, kératine...) et jouent des rôles cruciaux (anticorps, hormones, protéines sanguines...). Les acides aminés peuvent aussi être utilisés comme source d'énergie.

1.2.2.1. Présentation des acides aminés d'intérêt nutritionnel

Certains acides aminés doivent impérativement être apportés par l'alimentation car ils ne peuvent pas être synthétisés en quantité suffisante par le chien ou le chat : ce sont les acides aminés essentiels. Ainsi, chez le chien, on rapporte 10 acides aminés essentiels (arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine), auxquels s'ajoute, chez le chat, la taurine.

Les protéines peuvent être classées selon leur qualité. Cette qualité est quantifiée selon l'efficacité de conversion des acides aminés présents dans la protéine en constituant tissulaire. La qualité dépend de la source de la protéine, de la concentration en acides aminés essentiels et de leur biodisponibilité. Ainsi, les protéines contenant une proportion optimale de l'ensemble des acides aminés essentiels sont considérées comme des protéines de haute valeur biologique, alors qu'au contraire les protéines ne contenant pas tous les acides aminés essentiels au chat et au chien sont considérées comme de faible valeur biologique (Thatcher et al., 2010). Cette valeur biologique représente l'efficacité métabolique potentielle d'une protéine alimentaire c'est-à-dire la proportion de cette protéine qui va être incorporé par l'organisme. Elle peut s'exprimer comme telle :

$$\text{Valeur Biologique} = \frac{N \text{ retenu}}{N \text{ absorbé}} = \frac{N \text{ ingéré} - (N \text{ fécal} - N \text{ fécal endogène}) - (N \text{ urinaire} - N \text{ urinaire endogène})}{N \text{ ingéré} - (N \text{ fécal} - N \text{ fécal endogène})}$$

L'œuf est considéré comme la référence et possède une valeur biologique de 100, les autres types de protéines sont classées par rapport à celui-ci. Les protéines animales, qui possèdent un profil d'acides aminés plus apte à couvrir les besoins du chien et du chat, ont une valeur biologique supérieure à celle des protéines végétales.

1.2.2.2. Digestion et absorption des protéines

La digestion des protéines commence dans l'estomac où est sécrété le pepsinogène activé en pepsine par l'acide chlorhydrique. La pepsine permet la production de longs polypeptides à partir des protéines ingérées. Ces peptides sont fractionnés en acides aminés ou petits peptides dans l'intestin grêle grâce à des endo et exopeptidases sécrétées par le pancréas : le trypsinogène, le chymotrypsinogène, l'élastase et des carboxypeptidases. Le trypsinogène est activé en trypsine par l'action de l'entérokinase présente à la surface de l'épithélium intestinal. C'est la trypsine qui permet ensuite l'activation des autres protéases. L'ensemble des protéases permet la production de petits peptides qui sont ensuite absorbés directement à travers l'intestin grêle grâce à un transport actif sodium dépendant. Ces dipeptides et tripeptides sont ensuite hydrolysés dans les entérocytes par les dipeptidases et tripeptidases pour donner des acides aminés (Reece et al., 2017).

En plus des acides aminés produits par les différentes enzymes de la digestion, les bactéries digestives de l'intestin grêle peuvent dégrader certains acides aminés en ammonium absorbé par l'intestin grêle. Cet ammonium est transporté vers le foie, de même que les acides aminés.

Les acides aminés absorbés sont réassemblés en protéines et sont utilisés par les différents tissus de l'organisme. Les acides aminés non absorbés dans l'intestin grêle sont fermentés par les bactéries dans le gros intestin. Cette fermentation entraîne la formation d'ammonium, d'amine, de phénol, d'indoles, de sulphides, d'acides gras à longue et à courte chaîne et de gaz (hydrogène, dioxyde de carbone, méthane et de sulfure d'hydrogène) ainsi que du lactate et du succinate. Certains de ces produits, tels que les acides gras à courte chaîne sont favorables au développement d'une bonne flore bactérienne dans le colon. Au contraire, certains ont des effets délétères sur la muqueuses du colon, comme l'ammonium, le phénol, l'indole ou les sulphides et augmente l'odeur des selles et les flatulences (Nery et al., 2012 ; Zentek, 2009). La quantité de protéines non digérées atteignant le colon dépend de la digestibilité des protéines et de la quantité apportée par l'alimentation.

Contrairement aux lipides et aux glucides, les protéines ne peuvent pas être stockées telles quelles par l'organisme. Les acides aminés excédentaires sont directement utilisés pour la formation d'énergie ou sont convertis en lipides ou glucides pour être ensuite stockés. L'azote est éliminé sous forme d'urée, formée lors du cycle de l'urée dans les hépatocytes, puis est excrétée dans les urines après passage par le rein (Thatcher et al., 2010).

1.2.2.3. Particularité du métabolisme protéique chez le chat

Le chat a besoin de plus d'apports en protéines que le chien car ses besoins en acides aminés sont plus importants. L'une des principales hypothèses pour expliquer ce besoin important en protéines est que les enzymes du catabolisme protéique ont une activité très importante (l'activité enzymatique de l'alanine aminotransférase et du glutamate déshydrogénase est beaucoup plus élevée que celle du chien) et n'ont pas de capacité adaptative contrairement au chien et cela même en cas de régime faible en protéines (Rogers et al., 1977). Cependant, cette affirmation est remise en cause par d'autres chercheurs. En effet, des études ont réussi à mettre en évidence une diminution de l'oxydation protéique lors de la diminution des apports protéiques. Néanmoins pour les régimes alimentaires les plus faibles en protéines l'adaptation des mécanismes d'oxydations protéiques ne sont pas suffisants pour éviter les carences (Russell et al., 2002 ; Green et al., 2008).

Une autre hypothèse avancée pouvant expliquer en partie les besoins protéiques plus élevés du chat, est qu'une partie plus importante de protéines est utilisée pour la réalisation de la néoglucogénèse comparée aux omnivores/herbivores et au chien (Russell et al., 2002).

Une autre particularité du chat est l'apport alimentaire indispensable en taurine. En effet, le chien est capable de produire de la taurine à partir de la cystéine, grâce à la cystéine sulfinatase. La faible activité de cette enzyme chez le chat fait de la taurine un acide aminé essentiel (Markwell et al., 1995). De plus, la cystéine dioxygénase, qui joue aussi un rôle dans la synthèse de la taurine, présente une activité très limitée chez le chat et limite d'autant plus la synthèse de taurine (figure 5). D'autre part, se rajoute à cette faible synthèse une demande très importante en taurine. En effet, le chien comme la plupart des autres mammifères, est capable d'utiliser deux acides aminés pour la conjugaison des acides biliaires : la taurine et la glycine (figure 6). Il est ainsi capable de modifier le ratio de ces deux acides aminés, qui se conjuguent avec les sels biliaires selon leurs apports dans l'alimentation. Cependant, chez le chat, seule la taurine est utilisée pour la conjugaison avec les acides biliaires : aucune adaptation n'est possible, contrairement au chien (Markwell et al., 1995).

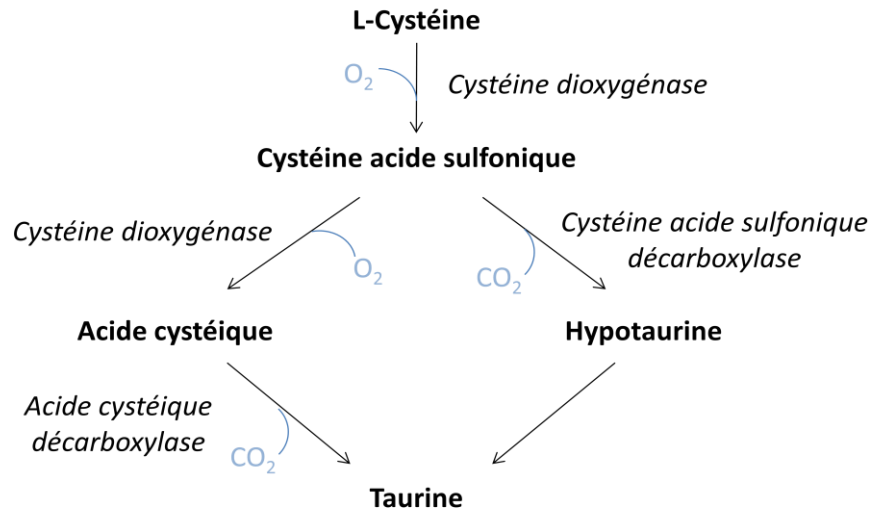


Figure 5 : Synthèse de la taurine, métabolisme simplifié (d'après Markwell et al., 1995)

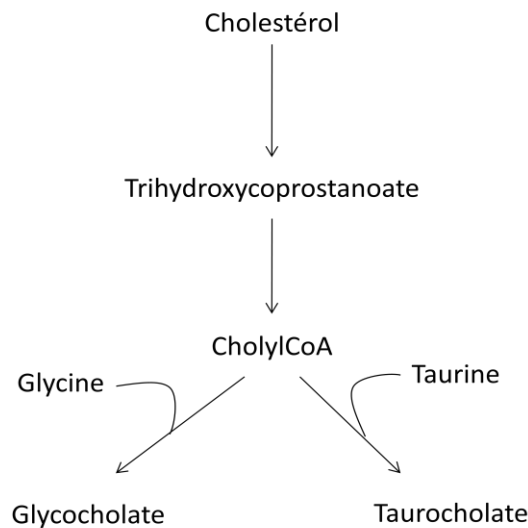


Figure 6 : Synthèse des acides biliaires chez le chien

De plus, le chat présente une sensibilité accrue aux carences en arginine. En effet, une carence en arginine entraîne chez le chat comme chez le chien une hyperamoniémie. Cependant, les conséquences sont beaucoup plus importantes chez le chat : un seul repas sans arginine peut provoquer une hyperamoniémie sévère deux à cinq heures après le repas alors que chez le chien, la carence se manifeste des jours, voire des semaines après des repas carencés. Chez la plupart des mammifères, l'arginine peut être synthétisée dans le foie à partir de l'ornithine ou de la citrulline via le cycle de l'urée (figure 7). Cependant, l'arginine synthétisée dans le foie ne peut le quitter pour être utilisée par les tissus périphériques. C'est le rein qui à partir de la citrulline réalise la synthèse d'arginine pour les tissus périphériques (figure 8).

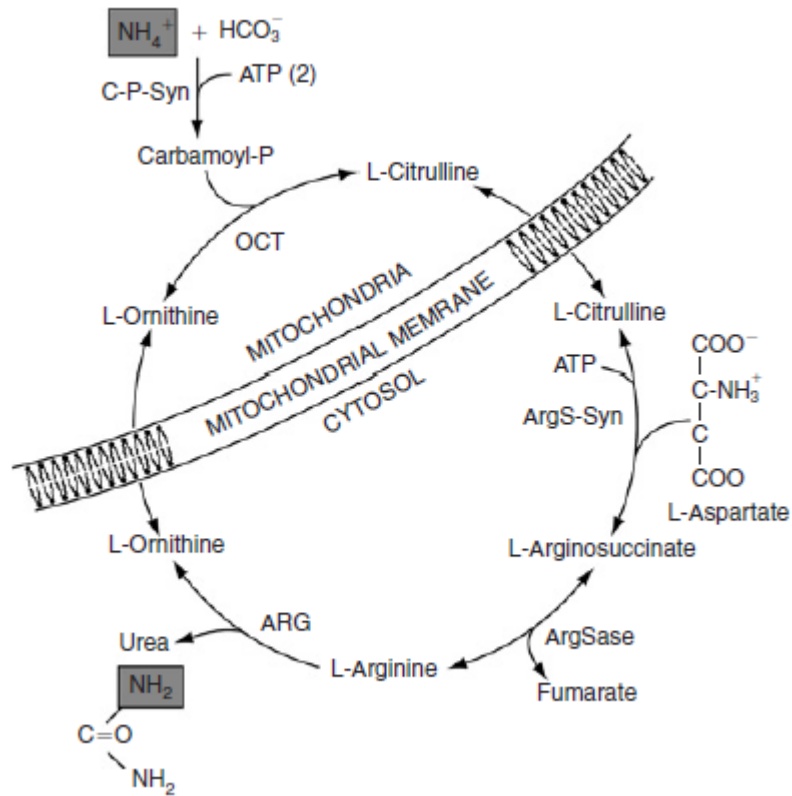


Figure 7 : Cycle de l'urée
 (C-P-Syn = Carbamoyl Phosphate Synthase ; OCT = Ornithine Citrulline Transferase ;
 ArgS-Syn = ArgininoSuccinate Synthase ; ArgSase = ArginoSuccinase ; ARG = Arginase)
 (d'après Eckersall, 2008)

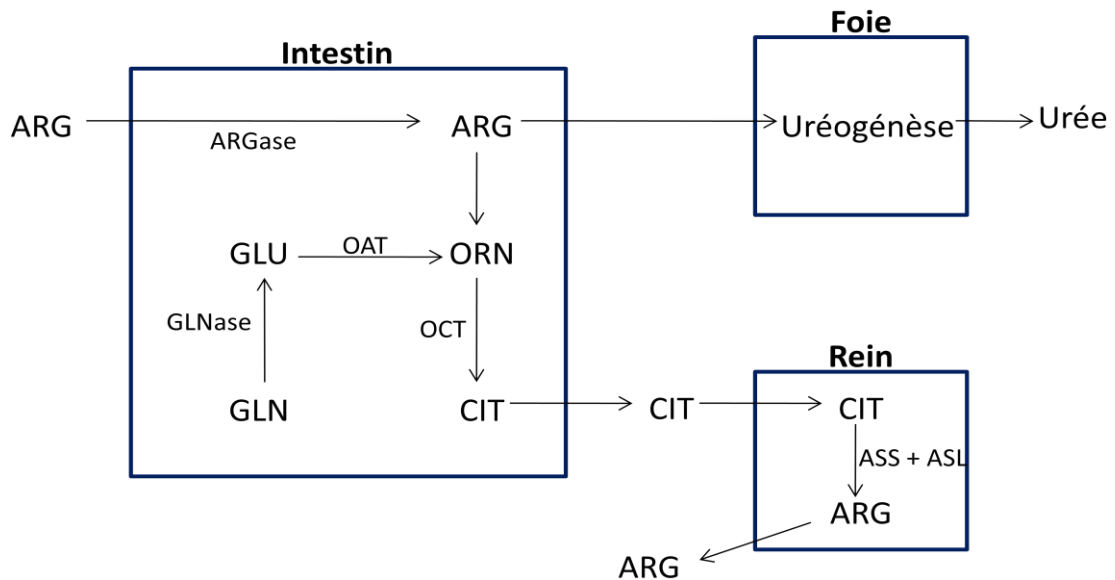


Figure 8 : Synthèse de l'arginine dans les différents organes de l'organisme (ARG = arginine ;
 GLU = Glutamate ; CIT = Citrulline ; ORN = Ornithine ; GLN = glutamine ; GLNase = glutaminase ;
 OAT = ornithine amino transférase ; OCT = ornithine citrulline transférase ; ARGase = arginase ;
 ASS = arginosuccinate synthétase ; ASL = arginosuccinate lyase) (d'après Cynober et al., 2010)

Chez le chat, plusieurs particularités métaboliques expliquent les carences précoces et importantes en cas de défaut d'apport d'arginine :

- Une incapacité du chat à synthétiser l'ornithine au niveau intestinal à partir de l'acide glutamique. Or l'ornithine est un intermédiaire essentiel du cycle de l'urée qui permet la formation d'arginine. Cette absence de synthèse est imputable à la très faible activité de la pyrroline-5-carboxylate synthase et l'ornithine aminotransférase.
- Une incapacité du chat à synthétiser la citrulline à partir de l'ornithine au niveau intestinal, même en cas d'apport d'ornithine dans l'alimentation, empêche la synthèse d'arginine au niveau du rein.
- Une incapacité de la citrulline produite par le cycle de l'urée dans le foie à quitter celui-ci. Elle ne peut donc pas être utilisée comme substrat par le rein pour la réalisation de la synthèse d'arginine (Morris et al., 1978 ; Legrand-Defretin, 1994 ; Rogers et al., 1985).
- Une oxydation protéique moins adaptable aux apports que ceux des autres mammifères. Le cycle de l'urée fonctionne à plein rendement et son activité n'est pas assez modulable pour permettre un équilibre azotémique en cas de régime alimentaire faible en protéines (Green et al., 2008 ; Rogers et al., 1977).

De plus, les besoins en acides aminés sulfurés (cystéine, méthionine) sont beaucoup plus importants chez le chat que chez le chien. L'une des principales hypothèses avancées aujourd'hui est l'utilisation de ces acides aminés comme précurseurs de la félinine : un acide aminé sulfuré sécrété dans les urines de chat et jouant un rôle dans le marquage et la communication intra-spécifique (Hendriks et al., 2001).

Le chat et le chien ont des besoins protéiques plus élevés que ceux de l'homme auxquels s'ajoute un nombre d'acides aminés essentiels plus important. Les besoins protéiques du chat sont encore plus importants que ceux du chien. Cela est dû à quelques particularités du métabolisme protéique chez celui-ci : cycle de l'urée avec un rendement élevé et peu adaptable, absence de synthèse de la taurine, utilisation de certains acides aminés soufrés pour la formation de molécules spécifiques du chat (félinine), absence ou activité diminuée de certaines enzymes jouant un rôle déterminant dans la synthèse de l'arginine. Les carnivores possèdent donc un métabolisme protéique différent des omnivores et des herbivores qui explique leur besoin protéique important.

1.2.3. La digestion des glucides

1.2.3.1. *Présentation des glucides d'intérêt nutritionnel*

Les glucides sont des molécules composées de carbone, hydrogène et oxygène dont la formule de base est $(CH_2O)_n$

Ils peuvent être classés en différentes catégories :

- les sucres simples : les monosaccharides (glucose composé d'une seule unité) et les disaccharides (2 unités) ;
- les oligosaccharides, composés de 3 à 9 unités
- les polysaccharides, composés de plus de 9 unités (amidon, cellulose, hémicellulose, pectine...)

Les polysaccharides sont les glucides les plus présents dans l'alimentation des chiens et des chats. On distingue parmi eux l'amidon et les fibres. L'amidon est un glucide dont les unités de sucre sont reliées par des liaisons glycosidiques alpha alors qu'au sein des fibres, on ne retrouve que des liaisons de type bêta. Les fibres comprennent les polysaccharides pariétaux (cellulose, hémicellulose), les polysaccharides cytoplasmiques (pectines, gommés et mucilages) ainsi que des polymères structuraux (lignine) (Thatcher et al., 2010).

Chez les mammifères, seules les liaisons alpha peuvent être rompues par les enzymes endogènes. Les liaisons bêta quant à elles peuvent être détruites par le microbiote intestinal. Selon la cuisson et les processus de transformation, l'amidon est plus ou moins rapidement digéré par les carnivores domestiques. Certaines formes d'amidon, qualifiées de résistantes, ne peuvent pas être digérées par les enzymes de l'intestin grêle et sont alors dégradées par les microorganismes présents dans le colon (Englyst et al., 1996).

Les glucides fournissent de l'énergie par la formation d'ATP via la glycolyse et le cycle de Krebs. Le glucose est essentiel au bon fonctionnement de certains organes comme le cerveau ou encore les hématies. Certains composants des glucides peuvent être utilisés pour la formation de divers nutriments (glycoprotéines, vitamines...).

Les glucides non utilisés sont stockés sous forme de glycogène dans le muscle et le foie ou sous forme de triglycérides principalement dans le tissu adipeux.

1.2.3.2. Digestion et absorption des glucides

La digestion des glucides commence dans l'estomac. En effet, contrairement à un certain nombre d'autres mammifères, les glandes salivaires du chien et du chat ne produisent pas d'amylase. Une très faible quantité d'amylase peut cependant être retrouvée dans la salive suite à une diffusion à partir du sérum ou de différents tissus de l'organisme. Il n'y a donc pas de digestion de l'amidon grâce à la salive chez le chien et le chat (McGeachin et al., 1979).

L'amidon est découpé en dissacharides via l'amylase sécrétée par le pancréas. L'activité de cette enzyme est beaucoup plus importante chez le chien que chez le chat. De plus, chez le chien, l'activité de l'amylase peut être multipliée par dix en cas de régimes riches en amidon contrairement au chat où l'activité peut au maximum doubler (l'activité dans le pancréas du chat est de 70 U/g et dans le chyme de 10 à 50 U/g contre 3000 U/g chez le pancréas du chien et 50 à 600 U/g dans le chyme). L'activité de l'amylase du chien et du chat est plus faible que celle d'un omnivore tel que le cochon en particulier dans le chyme intestinale : 3500 U/g dans le pancréas et 400 à 600 U/g dans le chyme du cochon (Kienzle, 1993).

Ces dissacharides sont ensuite pris en charge par les dissacharidases présentes sur la bordure en brosse de l'intestin grêle (maltase, isomaltase, lactase et sucrase). L'activité de la lactase chez le chien ou le chat adulte est absente ou très réduite. Chez l'homme, l'activité de la lactase intestinale peut se maintenir après le sevrage du fait de sa consommation régulière de produits contenant du lactose. Selon les localisations, des disparités ont été observées, certaines populations du fait de leur habitude alimentaire (absence de produits lactés dans les régimes alimentaires après le sevrage), présente une activité quasiment nulle des lactases à l'âge adulte (Lebenthal et al., 1975). L'activité des autres dissacharidases (maltase, isomaltase et sucrase) est limitée chez le chat comparé aux autres espèces (chien compris). Ainsi, l'activité de la lactase est 3,1 à 1,6 fois plus importante chez le chien que chez le chat, 4,4 à 2,9 fois plus importante pour la sucrase et 4,6 à 3,1 fois plus importante pour la maltase (Batchelor et al., 2011 ; Verbrugghe et al., 2017). Chez le chien, les dissacharidases sont présentes en plus grand nombre dans le jéjunum alors que chez le chat, elles sont réparties selon un gradient croissant en se dirigeant vers la fin du tractus digestif, ce qui entraîne une absorption moins efficace des dissacharides.

Les monosaccharides formés par les dissacharidases sont absorbés via un cotransport actif sodium dépendant (via le récepteur SGLT1). Ce récepteur est présent entre 1,9 à 2,3 fois plus chez le chien que chez le chat quelle que soit la portion du tractus digestif (Batchelor et al., 2011). Le gradient de sodium est réalisé par une pompe Na⁺/K⁺ ATPase dépendant. Le fructose est, quant à lui, absorbé grâce au transporteur GLUT5 (figure 9).

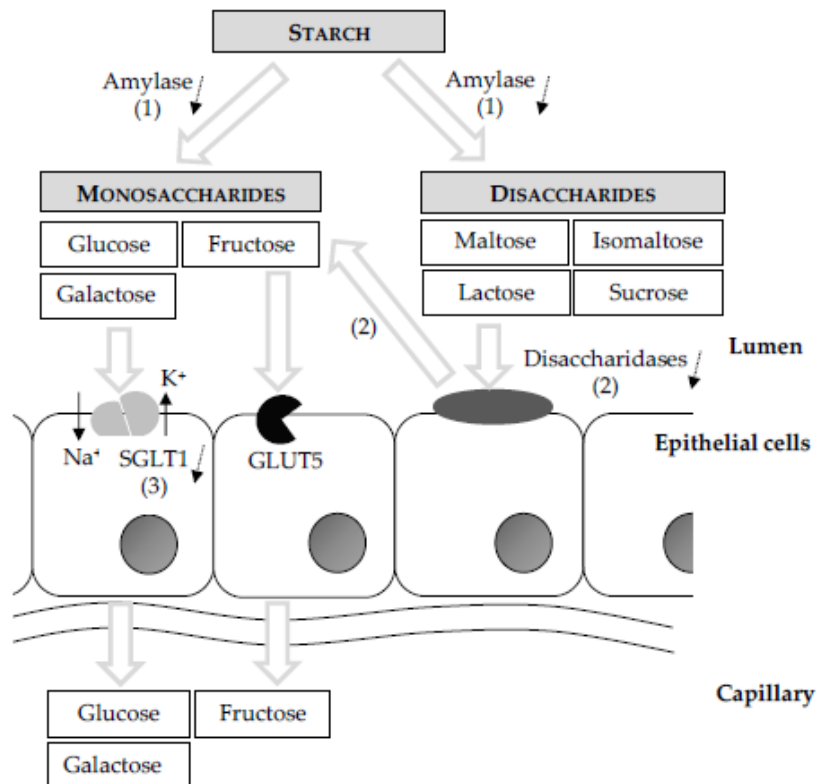


Figure 9 : Digestion et absorption des glucides (d'après Verbrugge et al., 2017)

Le chien, tout comme les omnivores, possède deux récepteurs gustatifs aux molécules sucrantes au niveau de l'intestin grêle : les récepteurs T1R3 et T1R2. Au contraire, le chat n'exprime que le récepteur T1R3. En cas d'augmentation de la quantité de glucides dans l'alimentation, la stimulation conjointe de ces deux récepteurs entraîne une augmentation de l'expression des transporteurs SGLT1 qui sont les principaux récepteurs responsables de l'assimilation du glucose. L'absence du récepteur T1R3 chez le chat explique en partie l'incapacité de celui-ci à augmenter la quantité de récepteurs SGLT1 en cas de régimes riches en glucides et donc son incapacité à digérer correctement ce type de régime. Cette différence de récepteur aux sucres entre le chien et le chat, explique que le chien soit attiré par des régimes sucrés alors que ce n'est pas le cas du chat (Batchelor et al., 2011).

1.2.3.3. Métabolisme des glucides : différence entre le chien et le chat.

Après son absorption au travers de la muqueuse intestinale, le glucose est métabolisé par l'organisme. La première étape du métabolisme du glucose est la phosphorylation du glucose en glucose 6 phosphate (G6P) par la glucokinase présente dans le foie. L'activité de cette enzyme est régulée par la protéine de régulation de la glucokinase (GKRP) liée à la glucokinase dans le noyau des hépatocytes. Lors d'un apport de glucose, la glucokinase est transportée par la GKRP dans le cytoplasme où elle devient active. Cependant chez le chat, différentes études ont mis en évidence une absence de glucokinase dans le foie, le gène

codant pour la GKR est présent chez le chat mais n'est pas transcrit (Tanaka et al., 2005a ; Vandercammen et al., 1993).

Cependant, d'autres hexokinases plus affines pour le glucose compenseraient l'absence de glucokinase chez le chat. Chez la majeure partie des mammifères, l'activité des hexokinases I, II et III est inhibée par la présence de G6P. Cependant, chez le chat, contrairement aux autres mammifères, les enzymes entraînant la consommation du G6P ont une activité beaucoup plus importante (haute activité de la G6PD, pyruvate kinase, fructokinase et lactate déshydrogénase). Cela expliquerait que le chat soit capable de prendre en charge des quantités importantes de glucose malgré l'absence de glucokinase (Tanaka et al., 2005b ; Washizu et al., 1999) (figure 10). Cette hypothèse reste encore à vérifier, puisqu'en effet, le chat présente une activité de néoglucogénèse plus importante que les autres mammifères, ce qui devrait en théorie inhiber les hexokinases. La prise en charge du glucose chez le chat reste, à l'heure actuelle, en partie incomprise (Verbrugghe et al., 2017).

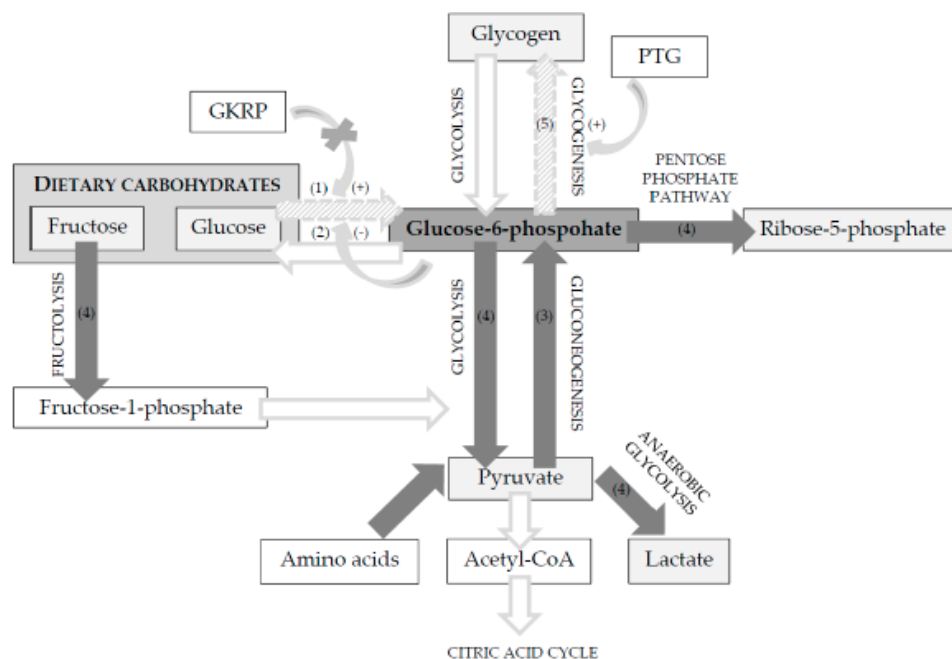


Figure 10 : Métabolisme des glucides chez le chat (d'après Verbrugghe et al., 2017)
 (1) =Très faible activité de la glucokinase hépatique, pas de régulation de la glucokinase par la protéine de régulation de la glucokinase ; (2) L'activité importante des hexokinases n'est à priori pas expliqué par la consommation importante du G6P car le chat présente une néoglucogénèse importante ; (3) Enzymes de la néoglucogénèse ont une activité augmentée; (4) L'inhibition des hexokinases I, II et III par le G6P est possiblement limitée, chez le chat, par l'augmentation de l'activité des enzymes entraînant la glycolyse

1.2.4. Relation entre les glucides, les lipides et les protéines

Les glucides, les lipides et les acides aminés peuvent tous trois servir de sources d'énergie en servant de substrat dans le cycle de Krebs. Pour les glucides, chaque molécule de glucose va permettre la formation de 36 molécules d'ATP. Pour les acides gras, le nombre d'ATP formé dépend de la longueur et du degré de saturation de l'acide et peut aller jusqu'à la formation de 146 ATP (à partir de l'acide oléique).

L'oxydation des acides aminés permet, elle aussi, la formation d'ATP pouvant aller de 6 (à partir de la glycine) à 42 (à partir du tryptophane). Les coûts énergétiques de cette oxydation sont néanmoins assez importants (utilisation d'énergie pour la néoglucogénèse et pour la formation d'urée), ce qui en fait une source d'énergie moins efficace que les lipides ou les glucides. Ils sont cependant capitaux pour la formation de protéines essentielles au bon fonctionnement de l'organisme (Thatcher et al., 2010) (figure 11).

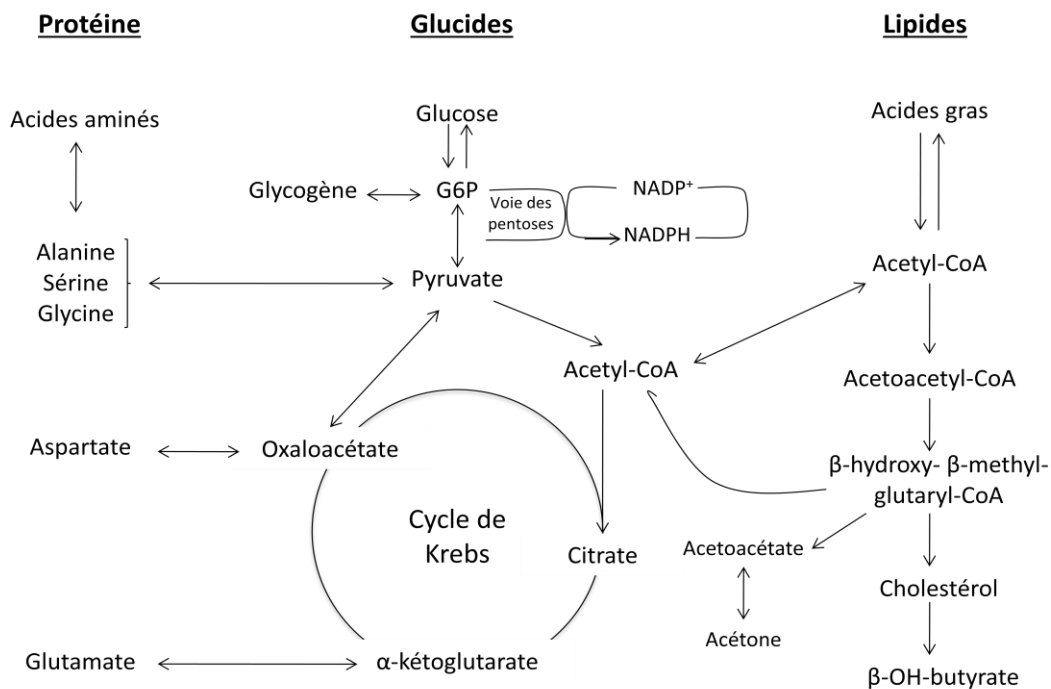


Figure 11 : Relation entre les lipides, les protéines et les glucides (d'après Kaneko et al., 2008)

Le chat, de part son métabolisme protéique très important et peu adaptable utilise obligatoirement une grande partie de protéines comme source d'énergie contrairement aux omnivores et au chien. Or, la conversion des protéines en énergie entraîne une perte de 1,7 kcal/g utilisée pour l'excrétion de l'azote. De plus, il ne peut utiliser aussi efficacement que le chien ou l'homme les glucides comme source d'énergie à cause de la plus faible activité des hexokinases. Le chat possède cependant la capacité d'utiliser efficacement les lipides pour subvenir à ces besoins énergétiques. Ainsi, pour augmenter de manière efficace l'apport d'énergie chez le chat, une augmentation du taux de matière grasse est nécessaire.

Au contraire chez les omnivores et chez le chien, les glucides représentent une source d'énergie efficacement utilisée.

1.2.5. Besoins hydriques et alimentation chez le chien et le chat

L'eau est un nutriment essentiel qui est un des composants principaux du corps des animaux. En effet, l'eau est un solvant capital à la réalisation de nombreuses réactions chimiques et au transport de nombreuses molécules. De plus, elle permet la régulation de la température corporelle. On estime que les besoins hydriques d'un chien ou d'un chat adulte, en bonne santé et à température ambiante, sont de 50 à 70 mL/kg, ses besoins regroupent l'eau bue et celle ingérée via l'alimentation. En pratique le chat a tendance à consommer une quantité moins importante d'eau : environ 20 mL/kg avec une alimentation sèche et 30 à 40 mL/kg avec une alimentation humide (Thatcher et al., 2010).

L'abreuvement est réalisé essentiellement la journée chez le chien et la nuit chez le chat. Le chien a tendance à boire juste après son repas. Les pertes d'eau utilisées pour la régulation de la température sont majoritairement exécutées par halètement chez le chien (57 % des pertes de chaleur contre seulement 9 % chez le chat) et par léchage chez le chat (Anderson, 1982).

Le type de nourriture influe sur la quantité d'eau ingérée. En effet, une alimentation plus salée entraîne chez le chien comme chez le chat une augmentation de la quantité d'eau ingérée. Le taux d'humidité de la nourriture influe aussi sur la prise de boisson. En cas de proposition de nourriture sèche, le chien, comme l'homme, compense le moindre apport d'eau de l'alimentation en buvant plus. Au contraire, le chat est incapable de compenser la totalité du manque d'eau présent dans la nourriture et absorbe au total deux fois moins d'eau quand il est nourri avec une alimentation sèche que lorsqu'il est nourri avec une alimentation humide (Burger et al., 2009). Cette moindre sensibilité du chat à la déshydratation s'explique par une capacité à concentrer ses urines de manière beaucoup plus importante que le chien ou l'homme. Ainsi, la densité urinaire physiologique d'un homme est comprise entre 1,010 et 1,030 g/mL, celle d'un chien entre 1,015-1,045 g/mL et celle d'un chat entre 1,035 et 1,060 g/mL. Cette capacité lui vient de son ancêtre *Felis silvestris lybica*, chat sauvage nord africain et résulte d'une adaptation à un milieu de vie aride (Thatcher et al., 2010).

1.2.6. Présentation des minéraux d'intérêts nutritionnels chez le chien et le chat

Les mammifères ont besoin de 18 minéraux différents. On distingue les macrominéraux (phosphore, calcium, sodium, magnésium, potassium, chlorure et sulfure), dont les besoins sont estimés en pourcentage de la ration, des oligo-éléments (fer, zinc,

cuivre, iode, sélénium, manganèse, cobalt, molybdène, fluor, bore et chrome), qui ne sont présents dans l'alimentation que sous forme de traces. Le molybdène n'est pas essentiel à la bonne santé des monogastriques et donc de nos chiens et nos chats. De même, le bore et le chrome jouent des rôles mineurs chez les mammifères. Les minéraux jouent des rôles très variés au sein de l'organisme comme le montre le tableau ci-dessous (tableau 2) récapitulant les rôles principaux des minéraux :

Minéraux	Rôle structural	Rôle métabolique
Calcium	Os, dents, globules rouges	Transmission nerveuse Perméabilité membranaire Fonctionnement musculaire
Phosphore	Os, dents	Formation muscles Métabolisme glucidique, lipidique, protéique Production d'énergie et de phospholipides Reproduction
Magnésium	Os, fluide intracellulaire	Transmission neuromusculaire Composant de plusieurs enzymes Métabolisme glucidique et lipidique
Potassium		Contraction musculaire Transmission de l'influx nerveux Balance acido-basique Co-facteurs d'enzymes
Sodium Chlore		Pression osmotique Transmission de l'influx nerveux Balance acido-basique Absorption des nutriments Élimination des déchets Métabolisme hydrique
Fer		Composant de plusieurs enzymes Transport de l'oxygène (myo et hémoglobine) Activation des oxydases et oxygénases
Zinc		Composant ou activateur de 200 enzymes Santé du pelage et de la peau Immunité Développement fœtal Croissance
Cuivre		Composant de plusieurs enzymes Fonctionnement cardiaque Respiration cellulaire Pigmentation Formation des os et de la myéline Immunité
Manganèse		Composant et activateur de plusieurs enzymes Métabolisme glucidique et lipidique Développement osseux Reproduction Intégrité de la membrane cellulaire
Sélénium		Antioxydant Immunité Reproduction
Iode		Constituant de la thyroxine et triiodothyronine

Tableau 2 : Récapitulatif des principaux rôles des minéraux chez le chien et le chat
(Thatcher et al., 2010)

1.2.6.1. Le calcium

Le calcium est le constituant majeur des os et des dents. Il joue un rôle dans la coagulation, la fonction musculaire, la transmission des messages nerveux et la perméabilité membranaire.

Le calcium se retrouve dans le sang sous différentes formes :

- ionisé ou libre (environ 50% du calcium total) ;
- lié à des protéines de transport (40 à 45 % du calcium total) ;
- complexé ou chélaté (5 à 10 % des cas) (Thatcher et al., 2010)

C'est la fraction ionisée du calcium qui, si elle subit des variations, entraîne la mise en place de systèmes de régulation de la calcémie.

En cas d'une baisse de la calcémie, la sécrétion de parathormone par la glande parathyroïde augmente. Cette hormone stimule la formation de la 1,25-dihydroxycholecalciferol ou calcitriol (forme active de la vitamine D) au niveau du rein. Cette molécule entraîne une stimulation de l'absorption de calcium au niveau de l'intestin via l'augmentation des récepteurs permettant l'absorption du calcium et conjointement avec la parathormone, elle stimule la résorption osseuse.

En cas d'une hausse de la calcémie ionisée, on observe une stimulation de la sécrétion de calcitonine par la thyroïde. Elle stoppe la réabsorption du calcium au niveau rénal, inhibe l'activité ostéoclasique et la formation de calcitriol. De plus, la calcitonine inhibe la synthèse de parathormone et diminue donc ses effets hypercalcémiant (Nap et al., 1994 ; Thatcher et al., 2010).

L'absorption intestinale du calcium peut se faire par deux voies différentes :

- un transporteur actif, saturable présent dans le duodénum et le jéjunum proximal et nécessitant la présence de vitamine D
- une absorption passive et non saturable importante dans la portion distale de l'intestin grêle (figure 12).

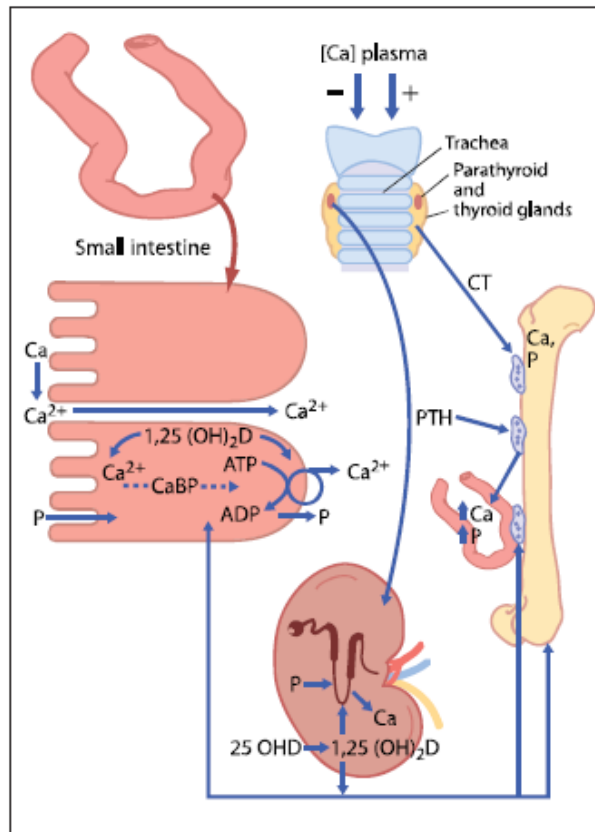


Figure 12 : Mécanisme de régulation de la calcémie chez le chien et le chat (d'après Thatcher et al., 2010)

Cependant, l'importance respective de chacun de ces mécanismes de régulation et d'absorption du calcium chez les chiens et chats adultes reste peu connue. Les phénomènes d'excrétion et d'absorption rénale de calcium ne sont pas suffisants pour permettre chez le chien et le chat de conserver un niveau constant de calcium dans l'organisme, d'autres mécanismes doivent obligatoirement être impliqués : échanges osseux ou absorption digestive (National Research Council, 2006). Au niveau intestinal, une étude a montré que la digestibilité calcique ne variait pas selon les apports alimentaires. En effet, même en cas de régime pauvre en calcium, le chien et le chat sont a priori incapables d'augmenter leur capacité d'absorption digestive pour pallier à cette carence, contrairement à l'homme, chez qui, un régime pauvre en calcium engendre une augmentation de la digestibilité du calcium. Ceci expliquerait que le chien et le chat aient des besoins calciques beaucoup plus importants que l'homme puisqu'ils sont incapables de s'adapter à des régimes pauvres en calcium. Il est donc probable que la plus grande partie de la régulation calcique se déroule au niveau osseux par des phénomènes d'ostéolyse et d'ostéogénèse (Mack et al. 2015). Cependant, cette étude rétrospective ne prend en compte que des régimes ne durant que quelques jours ou quelques semaines, il est possible qu'un régime faible en calcium sur plusieurs mois entraîne une augmentation de l'absorption calcique et donc de la digestibilité du calcium.

Les aliments riches en calcium sont les produits laitiers ainsi que les viandes contenant de l'os (les protéines animales transformées qui sont issues des morceaux des sous-produits animaux non utilisées pour la consommation humaine sont souvent riches en calcium car contiennent de l'os). Les viandes ne contenant pas d'os sont pauvres en calcium. Les suppléments en calcium utilisés couramment en alimentation animale sont le carbonate de calcium, le sulfate de calcium, le chlorure de calcium, le phosphate de calcium et les os charnus (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.2. Le phosphore

Le phosphore est le deuxième constituant des dents et des os après le calcium. Il participe à la formation des muscles et des phospholipides, au métabolisme des lipides, glucides, protéines, à la production d'énergie (ATP), d'ADN/ARN et aux fonctions de reproduction.

La régulation de la phosphatémie est intimement liée à celle de la calcémie. En effet, la parathormone et le calcitriol en parallèle de leur effet hypercalcémiant, sont respectivement hypo et hyperphosphatémiant. La parathormone induit une augmentation de l'excrétion rénale du phosphore alors que le calcitriol entraîne une augmentation de son absorption intestinale. La calcitonine est quant à elle hypocalcémiant et hypophosphatémiant et entraîne une augmentation de l'excrétion rénale du phosphore. On estime que 60 à 70 % du phosphore ingéré est absorbé dans l'intestin grêle (Thatcher et al., 2010 ; Allen-Durance, 2017).

L'absorption du phosphore se fait au niveau du jéjunum sous contrôle du calcitriol. Le phosphore est majoritairement excrété au niveau du rein (90% de l'excrétion) et plus faiblement au niveau de l'intestin grêle (10%) (Schropp et al., 2007).

La régulation du calcium et du phosphore sont totalement dépendante car leur homéostasie est assurée par les mêmes hormones. De ce fait, le ratio calcium/phosphore qui doit être apporté par l'alimentation pour éviter un déséquilibre doit être compris entre 1 et 2 pour éviter toutes pathologies (Thatcher et al., 2010 ; Schropp et al., 2007).

Les aliments riches en phosphore sont la viande, les œufs et les produits laitiers. En alimentation animale, des suppléments en phosphore peuvent être réalisés par l'ajout de phosphate de calcium, de phosphate de sodium et d'acide phosphorique.

1.2.6.3. Le magnésium

Le magnésium est le troisième minéral constituant des os après le calcium et le phosphore. Environ 60 à 70 % du magnésium présent dans l'organisme est stocké sous forme de phosphates et carbonates dans les os ; le reste du magnésium est présent majoritairement dans les cellules sous forme liée à l'ATP. Il joue un rôle dans le métabolisme des lipides et des glucides car il est nécessaire à l'action de nombreuses enzymes. Il est nécessaire à la réalisation des réactions d'oxydation, il catalyse la plupart des réactions de transferts de phosphate et joue un rôle dans l'activité neuromusculaire en diminuant la libération d'acétylcholine et inhibe donc la transmission de l'influx nerveux (Thatcher et al., 2010 ; Case, 2011).

L'absorption du magnésium a lieu tout le long du tractus digestif, avec une absorption plus importante au niveau du jéjunum. Elle est a priori permise par une simple diffusion passive même si les mécanismes ne sont à l'heure actuelle pas totalement connus.

L'homéostasie est assurée en grande partie par le rein qui filtre 70 % du magnésium sanguin et en réabsorbe environ 95 % physiologiquement. Les mécanismes de régulation hormonaux de l'homéostasie du magnésium sont à l'heure actuelle encore inconnus. L'os est aussi un réservoir potentiel de magnésium qui peut être libéré lors de phénomènes d'ostéolyse (Rude, 2002 ; Kaneko et al., 2008).

Les aliments contenant des os, des oléagineux, des sources de fibres (pulpe de betterave, son de blé, son d'avoine) sont riches en magnésium. Les aliments peuvent être supplémentés en magnésium via l'ajout d'oxyde de magnésium ou de sulfate de magnésium (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.4. Le potassium

Le potassium est le minéral intracellulaire le plus abondant. Il permet le maintien des équilibres acido-basiques, le maintien de la balance osmotique, la transmission des influx nerveux, la contraction musculaire. Il est contenu dans de nombreuses enzymes.

Le potassium est absorbé par diffusion simple dans l'intestin grêle proximal. Contrairement à d'autres minéraux, le potassium n'est pas stocké dans l'organisme et nécessite donc un apport journalier.

Les aliments riches en potassium sont le soja, les graines complètes, les levures, les sources de fibres. Le potassium peut être ajouté dans l'alimentation sous forme de citrate de

potassium, de chlorure de potassium ou de sulfate de potassium (Thatcher et al., 2010 ; Case, 2011).

1.2.6.5. Le sodium et le chlore

Le sodium et le chlore sont, avec le potassium, essentiels au maintien de la pression osmotique, à l'équilibre acido-basique, à la transmission des influx nerveux et aux contractions musculaires. Le sodium joue aussi un rôle dans les transports actifs des acides aminés et des sucres. Un manque de sodium dans la lumière intestinale entraîne une moins bonne assimilation de ces deux composés. Il influe aussi sur l'absorption du calcium et de certaines vitamines hydrosolubles (riboflavine, thiamine et acide ascorbique).

Le sodium et le chlore sont absorbés au niveau de l'intestin grêle proximal. Ils sont excrétés majoritairement dans les urines. L'excrétion rénale du sodium et du chlore sont couplés.

Les aliments contenant une quantité importante de sodium et de chlorure sont le poisson, les œufs, le soja, les sous-produits de volailles. En alimentation animale, ils peuvent être ajoutés sous forme de sel, phosphate de sodium, chlorure de calcium, chlorure de choline, chlorure de potassium et acétate de sodium (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.6. Le fer

Le fer peut être présent sous formes de deux ions : Fe^{2+} et Fe^{3+} qui peuvent respectivement accepter ou céder un électron et donc en permettent le transport. De plus, les protéines contenant du fer sont essentielles pour le transport et le stockage de l'oxygène (plus de 65% du fer est lié à l'hémoglobine), la respiration, la synthèse de l'ADN et de nombreuses réactions enzymatiques.

Le fer est absorbé dans l'intestin grêle. Il est présent dans l'alimentation sous deux formes : sous forme d'hème présent dans l'hémoglobine ou la myoglobine et sous forme de fer non lié à un hème présent dans les végétaux. L'absorption du fer lié à un hème est très peu affectée par les autres composants de l'alimentation, contrairement à celle du fer présent dans les végétaux, de biodisponibilité plus faible et qui varie selon la quantité de fer présent dans l'organisme, la présence de phytate, de tannins, d'un excès de calcium, de phosphore, de manganèse, de zinc, de cuivre et d'acide ascorbique (Hallberg et al., 1993 ; Thatcher et al., 2010 ; Kaneko et al., 2008). La régulation de la quantité de fer présent dans l'organisme se fait essentiellement par la régulation de son absorption. En effet, il n'existe pas de moyen d'excrétion physiologique du fer (pas d'élimination par voie rénale ou fécale).

Après son absorption, le fer est transporté sous forme liée à la transferrine. Puis il est amené majoritairement vers la moelle osseuse où il sert à la formation de l'hémoglobine. Le fer présent dans l'hémoglobine est recyclé après phagocytose par des macrophages. Il est stocké dans ces macrophages sous forme de ferritine et d'hémosidérine, avant d'être réutilisé (figure 13).

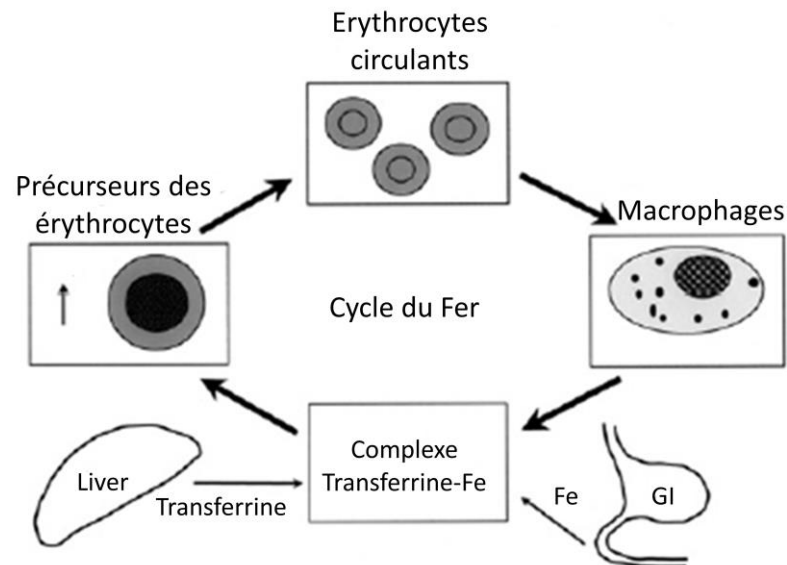


Figure 13 : Absorption et utilisation du fer (d'après Kaneko et al., 2008)

Les sources classiques de fer dans l'alimentation des carnivores domestiques sont : le foie, la rate et le poumon. Il peut être ajouté sous forme de sulfate de fer, de chlorure ferrique, de fumarate de fer, de carbonate de fer et d'oxyde de fer. Toutes ces sources n'ont pas la même biodisponibilité (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.7. Le zinc

Le zinc est un constituant ou un activateur impliqué dans le fonctionnement de plus de 200 enzymes : métabolisme des acides nucléiques, synthèse protéique, métabolisme glucidique, immunocompétence, santé de la peau et du pelage, multiplication et différenciation cellulaire, croissance et reproduction.

L'absorption intestinale majeure du zinc a lieu au niveau de l'intestin grêle. Les mécanismes de régulation de l'absorption du zinc sont à l'heure actuelle encore inconnus. On estime que 20 à 30 % du zinc contenu dans le régime alimentaire est absorbé dans l'intestin grêle (Engelking, 2015). D'autres éléments du régime alimentaire peuvent entraîner une moins bonne absorption du zinc, comme de trop hauts niveaux de fer. Inversement, de trop grandes quantités de zinc peuvent diminuer l'absorption de fer et de cuivre. En effet, ces éléments sont absorbés dans les mêmes portions du tube digestif et peuvent donc entrer en compétition. Le zinc peut aussi se complexer avec le calcium, d'autant plus en

présence de phytate, et former des complexes hautement insolubles et donc non absorbables (Thatcher et al., 2010 ; Engelking, 2015).

L'élimination du zinc se fait majoritairement au niveau pancréatique et par desquamation des cellules de la muqueuse intestinale, on le retrouve donc majoritairement dans les fèces.

Les sources alimentaires de zinc sont la viande et les abats, les graines complètes, les grains, les noix, les œufs et les racines (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.8. Le cuivre

Le cuivre est un composant de nombreuses enzymes et protéines. Il permet la formation de l'hémoglobine, participe au fonctionnement cardiaque, à la respiration cellulaire, à la pigmentation, à la formation des os, de la myéline et du collagène et à la fonction immunitaire.

L'absorption du cuivre a lieu sur l'ensemble du tractus digestif. Elle est cependant plus importante au niveau de l'intestin grêle via deux mécanismes : un transport actif et saturable et un transport passif non saturable. Le transporteur actif permet aussi le transport du zinc et du fer, un excès de cuivre peut empêcher l'absorption du zinc et ou du fer via un phénomène de compétition. Le cuivre est transporté par l'albumine jusqu'au foie, où il est incorporé à différentes protéines et enzymes et associé à la ferroxidase, qui permet le transport du cuivre à l'ensemble de l'organisme.

Le cuivre est excrété majoritairement dans les fèces. La principale régulation de l'homéostasie du cuivre est due à une régulation de son absorption au niveau de l'intestin grêle (Thatcher et al., 2010 ; Engelking, 2015).

Le cuivre est facilement assimilable à partir du foie de bœuf, de mouton et de dinde. De manière générale, tous les abats sont riches en cuivre. L'oxyde de cuivre et le cuivre présents dans le foie de porc sont, quant à eux, très peu assimilables (Aoyagi et al., 1993 ; 1995). Le cuivre peut être ajouté dans l'alimentation sous forme de sulfate de cuivre, de carbonate de cuivre et de chlorure de cuivre (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.9. Le manganèse

Le manganèse est un composant et activateur d'enzymes, qui joue un rôle dans le métabolisme des lipides et glucides, dans le développement osseux, dans la reproduction, dans l'intégrité des membranes cellulaires et dans la synthèse du collagène et de l'élastine.

Il est absorbé au niveau de l'intestin grêle avec une efficacité estimée à 3-4 % (Engelking, 2015) (figure 14). Cette absorption peut être diminuée par la présence de calcium, phosphate, fer et phytates et au contraire augmentée par la présence d'histidine ou de citrate dans le régime alimentaire.

Le manganèse est ensuite transporté par la transferrine (responsable aussi du transport du fer) dans l'ensemble de l'organisme. La majeure partie du manganèse est excrétée dans la bile ou dans les sécrétions pancréatiques.

Les principales sources de manganèse sont les noix et les grains entiers. Le manganèse peut être ajouté dans l'alimentation animale sous forme d'oxyde de manganèse, de sulfate de manganèse, de chlorure de manganèse ou encore de carbonate de manganèse (Thatcher et al., 2010).

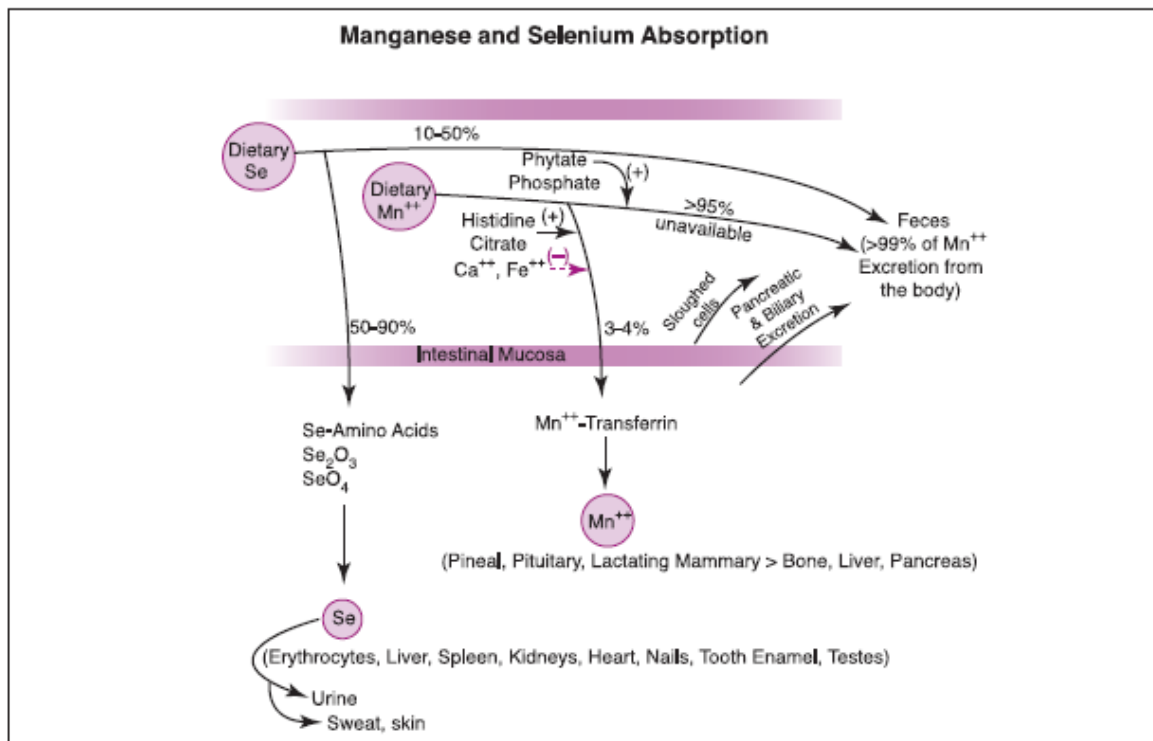


Figure 14 : Absorption du manganèse et du sélénium (d'après Engelking, 2015, p. 321)

1.2.6.10. Le sélénium

Le sélénium est un constituant essentiel de la glutathion peroxydase, qui protège les membranes cellulaires des dommages oxydatifs. Il agit en synergie avec la vitamine E et permet une meilleure absorption de celle-ci, en protégeant le pancréas qui permet l'absorption des graisses et donc de la vitamine E qui est liposoluble. De plus, le sélénium réduit l'apport de vitamine E nécessaire au maintien de l'intégrité des membranes liposoluble et en aide à la rétention de celle-ci dans le plasma sanguin. Il est aussi capital dans le maintien de la fonction thyroïdienne en permettant la régulation de la conversion de la T4 en T3 (Thatcher et al., 2010).

Il est absorbé majoritairement au niveau du duodénum ; aucun mécanisme de contrôle de l'absorption n'a été mis en évidence. 50 à 90% du sélénium alimentaire est absorbé au niveau de l'intestin grêle (figure 14). Le maintien de l'homéostasie se fait via la régulation de l'excrétion dans les urines (Engelking, 2015).

Il est présent principalement dans les produits de la pêche et il peut être ajouté dans l'alimentation sous forme de sélénite de sodium (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.11. L'iode

L'iode est un constituant des hormones thyroïdiennes : la 3,5,3',5'-tétraïodothyronine (T4) et la 3,5,3'-triiodothyronine (T3). Ces hormones jouent un rôle dans la thermorégulation, les fonctions de reproduction, de croissance, de la fonction musculaire et ont un rôle important dans le métabolisme intermédiaire de nombreuses fonctions de l'organisme.

L'iode est converti en iodure (I⁻) dans le tractus digestif, où il est absorbé de manière active dans l'intestin grêle. L'efficacité d'absorption est supérieure à 95% (Engelking, 2015).

La glande thyroïdienne piège et stocke l'iode quotidiennement, ce qui permet un apport à peu près constant d'iode pour la synthèse d'hormone thyroïdienne. Le transport dans la glande thyroïdienne est permis par un transporteur actif Na⁺/K⁺. L'iode est combinée à la tyrosine et à la protéine thyroglobuline pour former la monoiodotyrosine et la diiodotyrosine. Ces deux molécules sont combinées sous l'effet de la thyroïde peroxidase pour former la T3 et la T4 (Thatcher et al., 2010).

Après utilisation, la T3 et la T4 sont captées à nouveau par la glande thyroïdienne, soumises à des protéases, et l'iode peut être réutilisé à nouveau comme substrat.

L'iode est présent principalement dans les poissons, les légumes, la viande et les œufs. Les supplémentations en iode dans la nourriture pour animaux de compagnie sont l'iodate de calcium, l'iodure de potassium, l'iode cuivreux (Thatcher et al., 2010).

1.2.6.12. Digestibilité des différents minéraux

Les minéraux présentent des digestibilités très variables. Cette digestibilité peut être traduite grâce au coefficient d'utilisation digestive (CUD) qui est le rapport entre la quantité d'absorption d'un nutriment après digestion et la quantité distribuée de ce même nutriment. Le tableau 3 récapitule les CUD des différents minéraux chez le chien et le chat.

Coefficient d'utilisation digestive	Jeune	Adulte	Principaux facteurs de variations
Calcium chien	Proche des 100 %	50 à 90 %	↓ avec l'augmentation du calcium dans l'aliment ↓ avec l'avancement de la croissance
Calcium chat	50 % en croissance	45 %	
Phosphore chien	50 %	40-50 %	↓ avec l'augmentation du calcium dans l'aliment ↓ si phosphore sous forme de phytates
Phosphore chat	90 % à 11 – 15 semaines 65-70 % à 39 semaines	60-70 %	
Magnésium chien		30 %	↓ avec l'augmentation du phosphore ou du calcium dans l'aliment
Magnésium chat	60-80 %	20-40 %	
Potassium chien	> 90 %		
Potassium chat			
Sodium chien	99%	> 90 %	
Sodium chat	> 90 %	> 90 %	
Fer chien	60-70 %	60 %	Très variables selon les sources. ↓ si fer lié à un hème (myoglobine/hémoglobine)
Fer chat	Absence de données	30-50 %	
Zinc chien	25-34 %	25-40 %	↓ en présence de phytates
Zinc chat	50 %		
Cuivre chien	Absence de données	30 %	↓ en présence de phytates
Cuivre chat	Absence de données	Absence de données	
Manganèse chien	10 %	3-4 %	↓ en cas d'excès de fer ou de calcium ↓ en présence de phytates

Tableau 3 : Coefficients d'utilisation digestive des minéraux chez le chien et le chat (d'après National Research Council, 2006)

Coefficient d'utilisation digestive	Jeune	Adulte	Principaux facteurs de variations
Manganèse chat	10 %	3-4 %	
Sélénium chien	30 %	Absence de données	Digestibilité source animale > digestibilité source végétale
Sélénium chat	30 %	Absence de données	
Iode chien	Absence de données		
Iode chat			

Tableau 3 (suite) : Coefficients d'utilisation digestive des minéraux chez le chien et le chat (d'après National Research Council, 2006)

La digestibilité des minéraux peut varier énormément selon divers facteurs (tableau 3) : la forme sous laquelle ils se trouvent, les interactions, le stade physiologique... En effet, le stade physiologique influe aussi de manière importante sur la digestibilité, les jeunes animaux présentant généralement des digestibilités supérieures à celles des adultes. L'absorption intestinale des minéraux tend à diminuer avec l'âge, les apports chez les animaux âgés devront être donc suffisants pour couvrir leurs besoins malgré cette diminution.

Le chien et le chat présentent des différences notables au niveau de leur métabolisme protéique, glucidique et lipidique mais concernant les minéraux, aucune distinction n'a été mise en évidence entre les deux espèces. Cependant, une différence importante avec l'homme est à noter en particulier en ce qui concerne les besoins en phosphore et en calcium qui sont beaucoup plus importants chez les carnivores domestiques comparés aux omnivores.

1.2.7. Présentation des vitamines d'intérêt nutritionnel chez le chien et le chat

Les vitamines sont définies comme des substances organiques, sans valeur énergétique, mais indispensables à l'organisme, apportées par l'alimentation et qui agissent à faible dose. Leur absence entraîne des carences si elles ne sont pas synthétisées par l'organisme en quantité suffisante pour exercer l'ensemble de ses fonctions. Elles nécessitent alors un apport exogène via l'alimentation.

On classe les vitamines en deux catégories :

- les vitamines liposolubles : vitamines A, D, E et K ;
- les vitamines hydrosolubles : vitamine B1, vitamine B2, niacine, vitamine B6, acide folique, acide pantothénique, vitamine B12, biotine et vitamine C.

1.2.7.1. Les vitamines liposolubles et leurs particularités métaboliques et digestives chez le chien et le chat

1.2.7.1.1. La vitamine A

La vitamine A correspond à un groupe de molécules : le rétinol mais aussi le rétinal et l'acide rétinoïque utilisés pour la formation du rétinol. Le rétinol joue un rôle prépondérant dans la vision en se combinant à l'opsine au niveau de la rétine, ce qui entraîne la formation de rhodopsine : un pigment permettant l'adaptation au changement de luminosité. Outre la vision, ces vitamines jouent un rôle dans la différenciation des cellules épithéliales, la spermatogénèse, la fonction immunitaire, la résorption osseuse et la multiplication cellulaire de nombreux tissus au renouvellement important (épithélium glandulaire, animaux en croissance, os...). Elles peuvent être obtenues directement dans l'alimentation (huile de poisson, foie, œuf...) ou à partir de la conversion des caroténoïdes apportés par l'alimentation (Thatcher et al., 2010 ; Case, 2011).

Chez le chat, l'activité de la carotène dioxygénase intestinale, permettant la conversion des β -carotènes en vitamine A, est inexistante (Schweigert et al., 2002). Au contraire chez le chien, la conversion des β -carotènes en vitamine A est deux fois moins importante que celle du rat mais quasiment deux fois supérieure à celle de l'homme (McDowell, 2000). En condition expérimentale cette conversion est suffisamment efficace pour couvrir les besoins en vitamine A du chien (Green et al., 2016). Cependant, ces études étant réalisées avec des β -carotènes de synthèse, il convient d'être prudent quant à l'apport de vitamine A via les carotènes chez le chien en conditions réelles. Ainsi, des apports directs en vitamine A sont indispensables pour le chat et recommandés pour le chien contrairement à l'homme chez lequel des apports en caroténoïdes sont suffisants.

1.2.7.1.2. La vitamine D

La vitamine D est présente sous deux formes principales : le cholecalciférol, ou vitamine D3, présent majoritairement chez les animaux et l'ergocalciférol, ou vitamine D2, prédominant chez les végétaux. La vitamine D joue un rôle dans l'homéostasie phosphocalcique, la minéralisation et la résorption osseuse, la synthèse de l'insuline et les fonctions immunitaires (Thatcher et al., 2010).

La majeure partie des mammifères peuvent synthétiser au niveau de leur peau le cholecalciférol à partir du 7-déhydrocholestérol lors d'une exposition aux rayons ultra violet. Cependant, le chien et le chat sont incapables d'une synthèse significative de vitamine D probablement à cause d'un manque de 7-déhydrocholestérol au niveau de la peau (How et al., 1994). Les vitamines D doivent donc être apportées par l'alimentation dans les deux espèces. Chez le chat, l'ergocalciférol est utilisé de manière moins efficace que le

cholecalciférol. Ainsi à partir d'ergocalciférol, le chat synthétise 0,7 fois la quantité de 25-hydroxyvitamine D₂ (25-OHD₂) comparé à la formation de 25-hydroxyvitamine D₃ (25-OHD₃) à partir d'une quantité équivalente de cholécalciférol (Morris, 2002). Cette différence d'efficacité est probablement due à une différence d'affinité des protéines de transport, qui serait plus importante pour le cholecalciférol que pour l'ergocalciférol. Les 25-OHD subissent des hydroxylations qui les rendent métaboliquement actives. La forme 25-OHD₂ ne subit qu'une seule hydroxylation et est beaucoup moins efficace comparée à la forme 25-OHD₃ qui subit deux hydroxylations différentes. La différence d'efficacité entre l'utilisation de l'ergocalciférol et le cholécalciférol est donc potentiellement bien plus marquée que celle déjà mise en évidence par Morris et al. Chez le chien, aucune étude n'a pu déterminer précisément la différence d'efficacité d'utilisation entre l'ergocalciférol et le cholecalciférol.

Des études complémentaires seraient intéressantes pour savoir précisément si la vitamine D₂ peut se substituer à la vitamine D₃ dans le régime alimentaire du chien et du chat et en quelle quantité elle doit être apportée pour éviter toutes carences.

La vitamine D est présente en quantité modérée dans le jaune d'œuf, le foie et certains poissons. La source la plus concentrée en vitamine D est l'huile de foie de morue (Case, 2011).

1.2.7.1.3. La vitamine E

La vitamine E comprend toutes les molécules ayant une activité biologique similaire à l' α -tocophérol. On compte 8 formes isomériques de la vitamine E. Les différentes formes de vitamine E n'ont pas toutes la même activité. Sa principale fonction est d'être un antioxydant et de permettre la conservation de l'intégrité membranaire des cellules en piégeant les radicaux libres présents. La vitamine E est présente principalement dans les huiles végétales, les graines et les céréales (Thatcher et al., 2010).

1.2.7.1.4. La vitamine K

La vitamine K est un groupe de composés ayant une action antihémorragique similaire à celle de la phylloquinone. Deux formes majeures de vitamine K sont connues : la phylloquinone, ou vitamine K₁, synthétisée par les plantes vertes, et la ménaquinone, ou vitamine K₂, synthétisée par les bactéries présentes dans le gros intestin, qui sont donc la principale source de vitamine K chez les carnivores domestiques.

La vitamine K est présente dans les plantes vertes (choux, épinard...). Les produits animaux contiennent de plus faibles concentrations en vitamine K. Cependant, le foie, les œufs et certains poissons en contiennent en quantité importante (Thatcher et al., 2010 ; Case, 2011).

1.2.7.2. Les vitamines hydrosolubles et leurs particularités métaboliques chez le chien et le chat

1.2.7.2.1. La thiamine (vitamine B1)

La vitamine B1, ou thiamine, est un composant de la thiamine pyrophosphate et un cofacteur de certaines enzymes du cycle de Krebs. Elle est absorbée de manière passive et active au niveau du tractus digestif, cependant les mécanismes précis restent à l'heure actuelle encore inconnus. Le transport actif permet l'absorption de thiamine lors de gradients non favorables à une absorption passive. Elle peut être synthétisée dans le gros intestin par les bactéries de la flore commensale, mais n'est pas absorbable par les carnivores à cet endroit du tube digestif (contrairement à certains herbivores). La thiamine est excrétée dans les urines et les fèces (Thatcher et al., 2010).

La thiamine est présente en grande quantité dans le foie, les grains entiers et les levures (Thatcher et al., 2010).

1.2.7.2.2. La riboflavine (vitamine B2)

La vitamine B2, ou riboflavine, est un précurseur de nombreux cofacteurs enzymatiques faisant partie de la famille des flavines. Elle est notamment un constituant de la flavine adénine dinucléotide et de la flavine mononucléotide et joue un rôle de transporteurs d'électrons. On peut la retrouver sous plusieurs formes : libres ou liées à des enzymes. Les formes liées sont hydrolysées lors de la digestion par des protéases. Les formes libres sont directement absorbées au travers de la membrane de l'intestin grêle par un transport actif (McCormick, 1990). Après absorption, la riboflavine est transportée par des globulines et des albumines.

Elle est présente en grande quantité dans certains abats (foie, cœur et reins), ainsi que dans les produits laitiers, les œufs, les muscles, les légumes verts et la levure. Elle est aussi synthétisée par les bactéries intestinales du chien et du chat. La riboflavine ainsi synthétisée n'est cependant que très faiblement absorbée, ce qui ne permet pas de couvrir les besoins des carnivores domestiques (Thatcher et al., 2010).

1.2.7.2.3. La niacine (vitamine B3)

La vitamine B3, ou niacine, joue un rôle important sous forme de nicotinamide en particulier dans les réactions d'oxydo-réduction. Elle est absorbée au niveau de l'intestin grêle et de l'estomac. La niacine est excrétée dans les urines sous forme méthylée.

Le chat présente certaines particularités comparé aux chiens et aux autres mammifères. Il lui est impossible de réaliser une synthèse efficace de niacine à partir du tryptophane car l'activité très importante de la carboxylase picolinique chez le chat oriente le catabolisme du tryptophane vers la formation de glutamate plutôt que vers la formation de niacine (figure 15) (Legrand-Defretin, 1994 ; MacDonald et al., 1984).

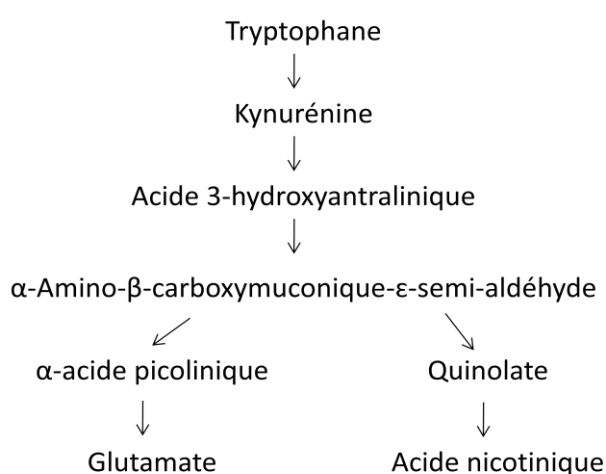


Figure 15 : Synthèse de la niacine chez les mammifères (d'après Legrand-Defretin, 1994)

La vitamine B3 est présente dans les levures, les sous-produits animaux, les céréales, les légumes, les oléagineux. Tout comme la riboflavine, elle est aussi produite par les bactéries intestinales du chien et du chat mais est faiblement absorbée (Thatcher et al., 2010).

1.2.7.2.4. L'acide pantothénique (vitamine B5)

L'acide pantothénique, ou vitamine B5, joue lui aussi un rôle important en tant que coenzyme, notamment pour le cycle de Krebs. Dans l'alimentation, la vitamine B5 est principalement présente sous forme de coenzyme A et de protéine porteuse d'acyl. Ces deux molécules sont dégradées en acide pantothénique dans la lumière de l'intestin grêle, puis passent la muqueuse intestinale par diffusion passive (Thatcher et al., 2010 ; Taylor et al., 1974). Chez le chien et le chat, près de 80% de l'acide pantothénique libre présent est absorbé par la muqueuse digestive (Taylor et al., 1974). Elle est ensuite transportée sous

forme libre dans le sang. La vitamine B5 est en partie synthétisée par le microbiote intestinal.

La vitamine B5 est majoritairement excrétée dans les urines sous forme de β -glucuronide (Taylor et al., 1972). Elle est présente dans quasiment tous les aliments.

1.2.7.2.5. La vitamine B6

La vitamine B6 comprend trois molécules : la pyridoxine, le pyridoxal et la pyridoxamine. La première forme est surtout présente chez les végétaux alors que les deux formes suivantes sont retrouvées dans les produits d'origine animale. Elle est synthétisée par les bactéries intestinales. Elle agit en tant que cofacteur dans diverses réactions sous forme de phosphate pyridoxal ou de phosphate de pyridoxamine. Elle permet ainsi le catabolisme du glycogène, le métabolisme lipidique, la synthèse de la sérotonine, de l'épinéphrine, de la norépinephrine, de l'acide α -aminobutyrique, de la taurine, de la cystéine, de la carnitine, et des précurseurs de la prophyrine (Thatcher et al., 2010).

Elle est absorbée dans l'intestin grêle par diffusion passive et est excrétée dans les urines sous forme d'acide pyroxydique chez le chien et sous forme de pyridoxine-3-sulfate, pyridoxal-3-sulfate et N-méthylpyridoxine chez le chat (McCormick, 2006).

La vitamine B6 est très présente dans de nombreux aliments, en particulier dans la viande, les grains entiers, les légumes et les noix (Case, 2011).

1.2.7.2.6. L'acide folique (vitamine B9)

L'acide folique, ou vitamine B9, participe à la formation de nucléotides, des phospholipides, au métabolisme des acides aminés, à la production de neurotransmetteurs et à la formation de la créatinine. Son rôle dans la formation des nucléotides lui donne un rôle prépondérant dans la maturation et le développement des globules rouges. En cas de carence, l'hématopoïèse se stoppe au stade de mégalo-blaste et entraîne une anémie (McDowell, 2000).

Les folates présents dans l'alimentation sont hydrolysés dans l'intestin grêle par l' α -glutamyl hydrolase pour former le folylmonoglutamate, qui est ensuite absorbé par les entérocytes. Une fois passé dans les cellules, des molécules de glutamates s'y ajoutent pour former des polyglutamates et en empêcher la sortie des cellules. En moyenne, 50 % des folates présents dans l'alimentation sont absorbés au niveau du tractus digestif, avec selon les aliments de 37 à 72 % d'absorption (Babu et al., 1976). Les bactéries intestinales synthétisent en partie de l'acide folique mais pas de manière suffisante à couvrir les besoins des carnivores.

L'excrétion des folates est principalement fécale et seule une petite partie est excrétée dans les urines (Thatcher et al., 2010).

Le foie, le blanc d'œuf et les légumes verts sont de bonnes sources de folates. Les aliments pour chiens et pour chats sont supplémentés en folates pour contrer les effets de la fabrication et du stockage sur cette molécule.

1.2.7.2.7. Biotine (vitamine B8)

La biotine, ou vitamine B8, est un cofacteur essentiel dans la réalisation de 4 réactions de carboxylation intervenant dans le métabolisme lipidique, glucosique et de certains acides aminés.

La biotine est principalement présente dans l'alimentation sous forme liée à des protéines. Cette forme liée est hydrolysée par la biotinase excrétée dans le suc pancréatique dans la lumière intestinale pour donner de la biotine qui est absorbée par un transporteur actif sodium dépendant présent sur la bordure en brosse intestinale (Zempleni et al., 2003 ; Thatcher et al., 2010). L'excrétion de la biotine est majoritairement urinaire.

La biotine se retrouve principalement dans les oléagineux, le blanc d'œuf, le foie et la levure. Elle peut aussi être synthétisée par la flore intestinale. La biotine est sensible à l'oxydation et à la chaleur, la plupart des aliments pour animaux sont donc complétés en biotine synthétique (Thatcher et al., 2010).

1.2.7.2.8. La cobalamine (vitamine B12)

La vitamine B12, ou cobalamine, regroupe toutes les molécules ayant une activité biologique similaire à la cynocobalamine. Elle est indispensable à l'action de la méthionine synthase utile à la formation de la pyrimidine.

La vitamine B12 présente dans l'alimentation est extraite des protéines par des réactions d'hydrolyse réalisées par les enzymes pancréatiques. Elle se lie ensuite au facteur intrinsèque (une glycoprotéine produite majoritairement par le pancréas), ce complexe est ensuite absorbé par des récepteurs spécifiques présents à la surface des cellules iléales. La vitamine B12 est ensuite transportée par les transcobalamines II et O chez le chien et le chat (Thatcher et al., 2010).

Les microorganismes et les levures sont capables de synthétiser la vitamine B12 dans le tractus digestif. Les autres sources de vitamine B12 sont principalement les produits laitiers et la viande ; les végétaux n'en contiennent pas.

1.2.7.2.9. La vitamine C

La vitamine C, ou acide ascorbique, possède des propriétés antioxydantes et piège les radicaux libres. Elle intervient aussi dans la synthèse de collagène et de L-carnitine.

La vitamine C est absorbée de manière passive dans l'intestin grêle par le chien et le chat - contrairement à certaines espèces qui ne synthétisent pas la vitamine C et chez qui on observe un transport actif - (Spencer et al., 1963).

Cependant, la vitamine C peut être synthétisée au niveau du foie chez le chien et le chat. On estime que le chien synthétise 5 µg d'acide ascorbique par mg de protéine par heure (contre des ratios 2 à 10 fois plus importants chez certains herbivores comme la vache) (Chatterjee et al., 1975), ce qui suffit à couvrir ses besoins. Il en est de même chez le chat : aucun déficit n'a pu être mis en évidence sur des chats nourris avec des régimes ne contenant aucune vitamine C (National Research Council, 2006).

La vitamine C est transportée dans le plasma par l'albumine dans l'ensemble de l'organisme. Elle est majoritairement éliminée par voie urinaire.

Les fruits, les légumes et les abats sont les meilleures sources de vitamine C. La vitamine C est en grande partie éliminée lors du stockage et de la fabrication des aliments industriels. Cependant, sous forme phosphorylée, la vitamine C peut subsister dans l'aliment industriel malgré les différents procédés de fabrication.

1.2.7.3. Conservation des vitamines lors des processus de fabrication et du stockage

Certaines vitamines sont sensibles à la chaleur, à l'humidité ou encore aux rayons UV. Les fabricants d'aliments industriels doivent prendre en compte cette fragilité pour compléter les aliments de manière à compenser les pertes vitaminiques lors des processus de fabrication et de stockage. Le tableau 4 recense les sensibilités des différentes vitamines à la lumière, la chaleur et à l'oxydation.

Vitamines	Lumière	Chaleur	Oxydants
Liposolubles			
A	+++	++	+++
D	+++	++	+++
E	++	+	++
K	+++	=	++
Hydrosolubles			
C	+	+	+++
Thiamine	++	+++	=
Riboflavine	+++	=	=
Prydoxine	++	=	=
B12	++	=	=
Niacine	=	=	=
Acide pantothénique	=	++	+
Biotine	=	=	=
Acide folique	++	=	++

Tableau 4 : Sensibilité des différentes vitamines à la lumière, la chaleur et l'oxydation (Jadot, 1994)
 +++ : très sensible; ++ : sensible; + : peu sensible; = : stable

Une étude réalisée sur des croquettes et des pâtées pour chien et pour chat a mesuré les quantités de vitamines perdues lors de la fabrication et du stockage pendant 18 mois (tableau 5 et 6).

Vitamines	Pâtées pour chat		Pâtées pour chien	
	Fabrication	Stockage (18 mois)	Fabrication	Stockage (18 mois)
Vitamine A	0,0 %	0,0 %	10,0 %	0,0 %
Vitamine E	0,0 %	9,2 %	4,3 %	10,7 %
Vitamine B12	5,7 %	11,3 %	0,0 %	0,0 %
Riboflavine	0,0 %	38,0 %	0,0 %	0,0 %
Niacine	0,0 %	31,7 %	15,1 %	18,3 %
Acide pantothénique	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Choline	0,0 %	-	-	-
Acide folique	0,0 %	20,0 %	0,0 %	14,5 %
Thiamine	51,7 %	0,0 %	52,7 %	0,0 %
Pyridoxine	18,5 %	0,0 %	88,9 %	0,0 %
Biotine	0,0 %	0,0 %	55,4 %	0,0 %
Vitamine C	100,0 %	-	100,0 %	-
B-carotène	43,7 %	-	57,7 %	-

Tableau 5 : Perte de vitamine en pourcentage durant la fabrication et le stockage de pâtée pour chat et pour chien (d'après Thatcher et al., 2010)

Vitamines	Croquettes pour chat		Croquettes pour chien	
	Fabrication	Stockage (18 mois)	Fabrication	Stockage (18 mois)
Vitamine A	16,3 %	0,0 %	9,5 %	0,0 %
Vitamine E	20,6 %	31,6 %	15,4 %	29,1 %
Vitamine B12	0,0 %	38,0 %	0,0 %	34,2 %
Riboflavine	0,0 %	21,2 %	0,0 %	32,0 %
Niacine	3,3 %	20,0 %	0,0 %	33,6 %
Acide pantothénique	0,0 %	4,8 %	0,0 %	0,0 %
Choline	5,5 %	-	-	-
Acide folique	9,6 %	23,1 %	8,5 %	0,0 %
Thiamine	11,8 %	34,2 %	4,0 %	57,5 %
Pyridoxine	11,5 %	10,0 %	0,0 %	0,8 %
Biotine	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Vitamine C	0,0 %	12,4 %	11,1 %	14,3 %
B-carotène	19,7 %	-	34,2 %	-

Tableau 6 : Perte de vitamine en pourcentage durant la fabrication et le stockage de croquettes pour chat et pour chien (d'après Thatcher et al., 2010)

Les vitamines instables en présence d'humidité et à la chaleur (vitamine C, thiamine, acide folique et β -carotène) ont été en partie perdues lors de la fabrication des pâtées. Les vitamines hydrosolubles sont beaucoup plus résistantes à l'extrusion qu'au processus de fabrication des pâtées. Concernant le stockage, au bout de 18 mois, les pertes vitaminiques sont beaucoup moins importantes dans les boîtes plus hermétiques des pâtées que dans les paquets de croquettes.

Ces études montrent des pertes vitaminiques majeures lors de la fabrication et du stockage des aliments industriels. Il est donc essentiel de compléter en vitamines ces aliments pour atteindre les recommandations nutritionnelles et éviter toutes carences.

1.2.8. Conclusion : nutriments et particularités du chien, du chat et de l'homme

Les carnivores domestiques présentent des particularités nutritives qui les différencient de l'homme omnivores (tableau 7). Cependant, le chien montre une certaine adaptation à un régime omnivore et donc des ressemblances nutritives avec ceux-ci, on peut ainsi le définir comme un carnivore à tendance omnivore. Au contraire, le chat peut-être défini comme un carnivore strict avec des particularités métaboliques qui le différencient du chien (moins bonne digestion des glucides, besoins protéiques et vitaminiques plus importants...).

Nutriments	Chien	Chat	Homme
Lipides			
Acides gras essentiels	Acide linoléique Acide α -linoléinique	Acide linoléique Acide α -linoléinique Acide arachidonique	Acide linoléique Acide α -linoléinique
Protéines			
Acides aminés essentiels	Arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine	Arginine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine, taurine	Isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine
Particularités métaboliques		- Cycle de l'urée peu régulable, \emptyset synthèse intestinale d'ornithine, \emptyset synthèse citrulline intestinale \rightarrow besoins arginine \uparrow - Néoglucogénèse à partir de protéine \uparrow - Félinine : \uparrow besoins acides aminés soufrés - Absence synthèse taurine	
Glucides			
Appareils enzymatique	\emptyset amylase salivaire \emptyset lactase à l'âge adulte	\emptyset amylase salivaire \emptyset lactase à l'âge adulte \downarrow activité dissaccharidases	Amylase salivaire présente
Particularités métaboliques	Récepteur T1R3 et T1R2 \uparrow absorption monosaccharides en cas de régime riche en glucides	\emptyset récepteur T1R2 au sucre \rightarrow \emptyset d'augmentation de l'absorption de monosaccharides en cas de régime riche en glucides \emptyset glucokinase hépatique	Récepteur T1R3 et T1R2 \uparrow absorption monosaccharides en cas de régime riche en glucides

Tableau 7 : Comparaison des principales différences nutritives entre l'homme, le chien et le chat

Nutriments	Chien	Chat	Homme
Eau	Absence de transpiration : halètement	Concentration plus importante des urines Absence de transpiration : léchage	Transpiration
Minéraux			
Calcium / Phosphore	Besoin en Ca et P élevé Pas d'adaptation à un régime faible en Ca	Besoin en Ca et P élevé Pas d'adaptation à un régime faible en Ca	Peut s'adapter à un régime faible en Ca (↑ digestibilité Ca)
Vitamines			
Vitamine A	Synthèse à partir des β-carotènes	Absence de synthèse à partir des β-carotènes	Synthèse à partir des β-carotènes
Vitamine D	Absence de synthèse à partir des UV Efficacité vitamine D3 > efficacité vitamine D2	Absence de synthèse à partir des UV Efficacité vitamine D3 > efficacité vitamine D2	Synthèse à partir des UV Efficacité vitamine D3 > efficacité vitamine D2
Niacine (B3)		∅ de synthèse à partir du tryptophane	
Vitamine B12	∅ de synthèse suffisante	∅ de synthèse suffisante	∅ de synthèse suffisante
Vitamine C	Synthèse au niveau du foie	Synthèse au niveau du foie	∅ synthèse

Tableau 7 (suite) : Comparaison des principales différences nutritives entre l'homme, le chien et le chat

1.3. Apports nutritionnels recommandés chez le chien et le chat

1.3.1. Apports énergétiques recommandés

Les apports énergétiques doivent permettre au chien et au chat de faire fonctionner leur organisme correctement. Certains stades physiologiques vont demander des apports énergétiques supplémentaires : croissance, reproduction, travail. Au contraire, des animaux en surpoids ou peu actifs auront besoin d'apports énergétiques plus faibles.

1.3.1.1. Chez le chien

Les pertes énergétiques liées à la thermogénèse dépendent de la taille de la surface du corps : ainsi, un chien de petite taille doit produire plus de chaleur par kilo de poids vif qu'un chien de grande taille pour maintenir sa température. Plusieurs études ont mis au point des équations permettant de calculer l'influence de la taille de l'animal sur ses besoins énergétiques. À l'heure actuelle, le National Research Council (NRC), aux Etats-unis, recommande chez le chien un apport énergétique journalier variant entre 95 à 200 kcal par (kilo de poids idéal)^{0,75} selon l'âge, l'état d'embonpoint, la race... L'exposant 0,75 permet de prendre en compte la surface du corps de l'animal. Le NRC a montré que l'apport énergétique journalier d'un chien adulte entier en bonne santé et présentant une activité moyenne était de $130 \times PV^{0,75}$ (PV= Poids idéal de l'animal). Un coefficient k peut être ajouté à cette équation pour prendre en compte certaines particularités individuelles. Les besoins énergétiques du chien adulte (hors lactation, croissance...) peut être calculé avec la formule suivante (National Research Council, 2006) :

$$\text{Besoins énergétique journalier (kcal/jour)} = k \times 130 \times PV^{0,75}$$

Avec $k = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4$. k_1 représente l'influence de la race du chien, k_2 celle de son comportement, k_3 celle de son stade physiologique et k_4 celle de différentes pathologies (tableaux 8 à 11).

Facteur racial k1	
Chiens nordiques	0,8
Beagles	0,8
Retrievers	0,8
Cockers	0,8
Lévriers	1,1
Terriers	1,4
Danois	1,5
Autres races	1,0

Tableau 8 : Facteurs raciaux influant sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)

Facteur comportemental k2	
Léthargique	0,7
Très calme	0,8
Calme	0,9
Normal	1,0
Actif	1,1
Hyperactif	1,2

Tableau 9 : Facteurs comportementaux influant sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)

Facteur physiologique k3	
Entretien	1
Dernier tiers de gestation	$130 \times PV^{0,75} + 26 \text{ kcal/kg de P}$
Lactation	$145 \times PV^{0,75} + [P \times (24n + 12m) \times L]$ n = nombre de chiots (entre 1 et 4) m = nombre de chiots suivants L = 0,75 la première semaine = 0,95 la deuxième semaine = 1,1 la troisième semaine = 1,2 la quatrième semaine
Croissance	$[1,8 - (P_{\text{jeune}}/P_{\text{adulte}})]/0,8$

Tableau 10 : Influence des différents stades physiologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)

Facteurs pathologiques k4			
Surpoids de 10 %	0,9	Chirurgie simple	1 à 1,2
Surpoids de 20 %	0,8	Fracture simple	1 à 1,1
Surpoids de 30 %	0,7	Fractures multiples	1,1 à 1,5
Surpoids de 40 %	0,6	Etat septique	1,2 à 1,5
Sous poids de 10 %	1,1	Traumatisme	1 à 2 selon la gravité
Sous poids de 20 %	1,2	Cancer	0,8 à 1,2
Sous poids de 30 %	1,3	Brûlure	1,2 à 2
Sous poids de 40 %	1,4		

Tableau 11 : Influence des facteurs pathologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)

Une méta-analyse récente reprenant les résultats de 29 autres études a déterminé une nouvelle équation de calcul de l'apport énergétique pour un chien entier en bonne santé physique avec une activité moyenne :

$$\text{Besoin énergétique journalier} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{jour}} \right) = 81,5 \times PV^{0,93} \text{ (Bermingham et al., 2014).}$$

Cette équation ne permet cependant pas de prendre en compte les facteurs raciaux, comportementaux, physiologiques et pathologiques et n'est donc utilisable que pour un nombre restreint d'individus. Pour le moment, l'équation recommandée par la NRC est toujours celle utilisée par les fabricants d'aliments et les nutritionnistes.

1.3.1.2. Chez le chat

Chez le chat, pareillement au chien, une équation du besoin énergétique permet de calculer le besoin de chaque individu (National Research Council, 2006).

$$\text{Besoin énergétique journalier (kcal/jour)} = k \times 100 \times PV^{0.67}$$

Avec $k = k_2 \times k_3 \times k_4$ (tableaux 12 à 14). Ces facteurs sont identiques au chien, sauf ceux concernant le stage physiologique qui diffèrent.

Facteur comportemental k2	
Léthargique	0,7
Très calme	0,8
Calme	0,9
Normal	1,0
Actif	1,1
Hyperactif	1,2

Tableau 12 : Facteurs raciaux influant sur l'apport énergétique du chat (d'après National Research Council, 2006)

Facteur physiologique k3	
Entretien	1
Gestation	1,4
Lactation	Besoin énergétique journalier + P _x N _x L Avec P = poids de la mère N = 18 si 1 à 2 chatons = 60 si 3 à 4 chatons = 70 si 5 chatons ou plus L = 0,9 les deux premières semaines = 1,2 les 3 ^{ème} et 4 ^{ème} semaines = 1,1 la 5 ^{ème} semaine = 1 la 6 ^{ème} semaine = 0,8 la 7 ^{ème} semaine
Croissance	$6,7 \times (\exp[-0,189 \times (P_{\text{jeune}}/P_{\text{adulte}})] - 0,66)$

Tableau 13 : Influence des différents stades physiologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)

Facteurs pathologiques k4			
Surpoids de 10 %	0,9	Chirurgie simple	1 à 1,2
Surpoids de 20 %	0,8	Fracture simple	1 à 1,1
Surpoids de 30 %	0,7	Fractures multiples	1,1 à 1,5
Surpoids de 40 %	0,6	Etat septique	1,2 à 1,5
Sous poids de 10 %	1,1	Traumatisme	1 à 2 selon la gravité
Sous poids de 20 %	1,2	Cancer	0,8 à 1,2
Sous poids de 30 %	1,3	Brulure	1,2 à 2
Sous poids de 40 %	1,4		

Tableau 14 : Influence des facteurs pathologiques sur l'apport énergétique du chien (d'après National Research Council, 2006)

Contrairement au chien, chez qui des différences raciales concernant le besoin énergétique ont été clairement mises en évidence, aucun facteur racial n'a pu être mis en évidence à l'heure actuelle chez le chat. Cela est dû à une disparité beaucoup moins importante, en particulier au niveau du format, entre les races de chats et celles de chiens.

1.3.2. Apports protéiques recommandés

1.3.2.1. Méthode de détermination des apports protéiques

Les besoins protéiques sont classiquement calculés en se basant sur l'étude de l'équilibre de l'azote, couplé pour les jeunes animaux, à l'évaluation de la croissance.

L'étude de l'équilibre azotémique se base sur le fait que les protéines contiennent en moyenne 16 % d'azote (Case, 2011). Il est ainsi possible de mesurer la quantité d'azote présente dans un aliment ou dans des fèces/urines en utilisant des méthodes d'analyse telle que la méthode Kjeldahl (méthode de mesure de la quantité d'azote dans un échantillon de poids connu). A partir de ces mesures, il est possible de calculer la balance azotémique c'est-à-dire l'azote retenu par l'organisme en se basant sur la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Balance azotémique} &= \text{azote retenu par l'organisme} \\ &= \text{azote apportée par l'alimentation} - \text{azote excrété dans les urines et les fèces} \end{aligned}$$

A partir du calcul de cette balance azotémique et en estimant que les protéines contiennent 16 % d'azote il est possible d'obtenir une estimation des apports requis en protéine.

Pour les chiens et chats en croissance, les études cherchent à obtenir une balance azotémique positive (nécessaire à la formation de nouveaux tissus) et une croissance correcte. Pour les adultes, les études cherchent à trouver les quantités de protéines minimales nécessaires pour obtenir une balance azotémique nulle et ainsi compenser les pertes protéiques occasionnées par le fonctionnement de l'organisme. Cependant, cette méthode connaît certaines limites. En effet, ce type d'étude ne prend pas en compte le profil en acides aminés des protéines testées et donc ne permet pas de savoir si les besoins en acides aminés essentiels sont comblés. D'autres études doivent donc être menées en parallèle pour connaître les besoins en chaque acide aminé. De plus, une balance azotémique nulle n'est pas forcément suffisante pour garantir des performances et une santé optimale. Ainsi, une étude réalisée sur des chiens adultes nourris avec un apport protéique suffisant pour atteindre une balance azotémique nulle a démontré que ceux-ci étaient plus sensibles à la toxicité de certaines drogues (Case, 2011). D'autre part, ce calcul des apports protéiques ne prend pas en compte l'animal en tant qu'individu, il convient donc d'adapter les recommandations à chaque individu manière à avoir un apport protéique suffisant pour permettre la conservation de la masse musculaire.

L'apport protéique est ainsi dépendant de la quantité des différents acides aminés présents dans les matières premières et de la densité énergétique de l'aliment. Ainsi si un des acides aminés essentiels n'est pas apporté en quantité suffisante pour couvrir les besoins de l'animal la quantité globale de protéines dans la ration devra être augmentée pour pallier à ce manque. De plus, une alimentation trop pauvre en calories augmente les besoins protéiques. Si la quantité de matières grasses et de glucides est trop faible pour couvrir les besoins énergétiques, alors ce sont les protéines qui vont être dégradées à cette fin et donc ne rempliront plus les besoins protéiques. De plus, il est important de prendre en compte le rapport protido-calorique. En effet, l'animal a tendance à manger la quantité d'aliments nécessaire à satisfaire ses besoins énergétiques. Un aliment plus riche en calories devra donc être plus riche en protéines pour conserver un rapport protido-calorique constant. Une étude sur des chiots en croissance a ainsi montré qu'un régime contenant 25 % de protéines et 20 % de graisse permettait une croissance optimale, alors que pour obtenir la même croissance avec un régime contenant 30 % de matières grasses, il était nécessaire d'augmenter le taux protéique à 29 % (Ontko et al., 1957).

1.3.2.2. Chez le chien

Les apports protéiques minimums recommandés varient selon les sources. A l'heure actuelle, l'organisme de référence concernant les apports recommandés en nutrition reste la NRC. Cependant, d'autres organismes tels la FEDIAF (Fédération Européenne de l'Industrie des Aliments pour Animaux Familiers) en Europe ou l'AAFCO (American Association of Feed Control Officials) aux États-unis formulent des recommandations pour les industriels de

l'alimentation et ne sont pas des organismes indépendants. Cependant, les recommandations émises par ces deux organismes suivent en grande partie celles du NRC et sont parfois même plus sévères que celles-ci.

Ainsi, le NRC, en 2006, recommande des apports protéiques de l'ordre de 8,75 % de la matière sèche pour un adulte et de 18 % de la matière sèche pour les chiots en croissance en se basant sur des protéines de très haute qualité. Comme décrit précédemment les apports minimums dépendent nettement de la qualité des protéines présentes dans la nourriture. L'AAFCO estime que les protéines utilisées pour la fabrication d'aliments industriels ne sont pas toujours de haute qualité et de ce fait, recommande des apports protéiques minimums plus élevés que ceux de la NRC : 18 % de l'énergie métabolisable ou 45 g/Mcal pour les chiens adultes contre 22 % pour les chiens en croissance. La FEDIAF propose deux recommandations basées sur deux apports énergétiques différents : un apport énergétique de $95 \times PV^{0,75}$ kcal et un autre de $110 \times PV^{0,75}$ kcal. Le premier cas de figure correspond à un chien inactif c'est-à-dire un chien domestique avec peu de stimulus et d'opportunité d'exercice. Le deuxième cas de figure correspond à un chien subissant une restriction énergétique d'un peu plus de 25 %. La NRC et l'AAFCO donne leurs recommandations pour des chiens recevant un apport énergétique moyen (sans facteur de correction) c'est-à-dire un apport de $130 \times PV^{0,75}$ kcal.

Concernant les différents acides aminés, la FEDIAF recommande les apports présentés dans le tableau ci-dessous (tableau 15) :

Nutriments	Minimum recommandé en g/Mcal				Maximum recommandé en g/Mcal
	Adulte basé sur un BEE de		Croissance (≤ 14 semaines) et reproduction	Croissance (≥ 14 semaines)	
	95 kcal/kg ^{0,75}	110 kcal/kg ^{0,75}			
Protéine	52,10	45,00	62,50	50,00	-
Arginine	1,51	1,30	2,04	1,84	-
Histidine	0,67	0,58	0,98	0,63	-
Isoleucine	1,33	1,15	1,63	1,25	-
Leucine	2,37	2,05	3,23	2,00	Croissance : 7,00
Lysine	1,22	1,05	2,20	1,75	-
Méthionine	1,16	1,00	0,88	0,65	-
Méthionine + Cystéine	2,21	1,91	1,75	1,33	-
Phénylalanine	1,56	1,35	1,63	1,25	-
Phénylalanine + Tyrosine	2,58	2,23	3,25	2,50	-
Thréonine	1,51	1,30	2,03	1,60	-
Tryptophane	0,49	0,43	0,58	0,53	-
Valine	1,71	1,48	1,70	1,40	-

Tableau 15 : Apports recommandés en protéine et en différents acides aminés selon la FEDIAF 2017 en grammes par Mcal pour le chien

L'AAFCO recommande des apports en protéine et acides aminés selon le tableau suivant (tableau 16) :

Nutriments	Minimum pour des adultes à l'entretien en g/Mcal	Minimum pour la croissance et la reproduction en g/Mcal
Protéine	45,0	56,3
Arginine	1,28	2,50
Histidine	0,48	1,10
Isoleucine	0,95	1,78
Leucine	1,70	3,23
Lysine	1,58	2,25
Méthionine	0,83	0,88
Méthionine-cystine	1,63	1,75
Phénylalanine	1,13	2,08
Phénylalanine-tyrosine	1,85	3,25
Thréonine	1,20	2,60
Tryptophane	0,40	0,50
Valine	1,23	1,70

Tableau 16 : Apports recommandés en protéine et différents acides aminés selon l'AAFCO en 2014 en grammes par Mcal pour le chien

Les apports protéiques recommandés par le NRC sont présentés dans le tableau suivant (tableau 17) :

Nutriments	Adulte en g/Mcal		Chiot en g/Mcal				Gestation et lactation en g/Mcal
			< 14 semaines		> 14 semaines		
	MR	AR	MR	AR	MR	AR	AR
Protéine	20	25	45	56,3	35	43,8	50
Arginine	0,70	0,88	1,58	1,98	1,33	1,65	2,50
Histidine	0,37	0,48	0,78	0,98	0,50	0,63	1,10
Isoleucine	0,75	0,95	1,30	1,63	1,00	1,25	1,78
Leucine	1,35	1,70	2,58	3,22	1,63	2,05	5,00
Lysine	0,70	0,88	1,75	2,20	1,40	1,75	2,25
Méthionine	0,65	0,83	0,70	0,88	0,53	0,65	0,78
Méthionine-cystine	1,30	1,63	1,40	1,75	1,05	1,33	1,55
Phénylalanine	0,90	1,13	1,30	1,63	1,00	1,25	2,08
Phénylalanine-tyrosine	1,48	1,85	2,60	3,25	2,00	2,50	3,08
Thréonine	0,85	1,08	1,63	2,03	1,25	1,58	2,60
Tryptophane	0,28	0,35	0,45	0,58	0,35	0,45	0,30
Valine	0,98	1,23	1,35	1,70	1,13	1,40	3,25

Tableau 17 : Apports recommandés en protéine et différents acides aminés selon la NRC en 2006 en grammes par Mcal pour le chien (MR = minimal recommandé ; AR = apports recommandés)

En pratique, les apports en protéine doivent souvent être plus élevés que ceux estimés par la NRC, la FEDIAF et l'AAFCO pour couvrir les besoins protéiques. Cette différence entre la pratique et les valeurs théorique est due à la valeur biologique moyenne

des protéines utilisée dans les aliments industriels qui n'est pas toujours très haute. Ainsi, en pratique on cherchera à apporter 60 g/Mcal de protéines pour avoir le maximum de chance de couvrir les besoins protéiques du chien (Blanchard et al., 2008). Pour les apports en acides aminés, pour un chien n'ayant pas besoin de restriction énergétique il sera possible de suivre les recommandations de l'AAFCO qui sont calculées sans restriction énergétique et pour des protéines de valeurs biologiques moyennes. Dans le cas d'un chien nécessitant un apport énergétique plus faible, les recommandations de la FEDIAF pourront servir de support.

1.3.2.3. Chez le chat

Les apports minimums protéiques recommandés par la FEDIAF pour le chat sont de 62,50 g/Mcal pour un apport énergétique journalier de $100 \times PV^{0,67}$ kcal.

Le NRC, en 2006, recommande des apports protéiques minimums de 16% de protéines sur la matière sèche pour l'adulte et de 18 % pour le chaton. L'AAFCO se base sur des protéines de moins bonne qualité et recommande donc des apports protéiques minimums plus élevés de 26 % de protéines sur la matière sèche contre 30 % pour les chatons. Les apports recommandés par la FEDIAF sont donnés pour deux besoins énergétiques différents : 75 kcal/kg^{0,67} et 100 kcal/kg^{0,67}. Le premier correspond à celui d'un chat ayant besoin d'une restriction énergétique de 25 % (chat stérilisé peu actif par exemple) et le deuxième à celui d'un chat entier actif n'ayant pas besoin de restriction énergétique.

Les apports minimums recommandés en acides aminés par la FEDIAF sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau 18) :

Nutriments	Minimum recommandé en g/Mcal			Maximum recommandé en g/Mcal
	Adulte basé sur un BEE de		Croissance et reproduction	
	75 kcal/kg ^{0,67}	100 kcal/kg ^{0,67}		
Protéine	83,30	62,50	70,00/75,00	Croissance : 8,75
Arginine	3,30	2,50	2,68/2,78	-
Histidine	0,87	0,65	0,83	-
Isoleucine	1,44	1,08	1,35	-
Leucine	3,40	2,55	3,20	-
Lysine	1,13	0,85	2,13	-
Méthionine	0,57	0,43	1,10	Croissance : 3,25
Méthionine + Cystéine	1,13	0,85	2,20	-
Phénylalanine	1,33	1,00	1,25	-
Phénylalanine + Tyrosine	5,11	3,83	4,78	-
Thréonine	1,73	1,30	1,63	-
Tryptophane	0,44	0,33	0,40	Croissance : 4,25
Valine	1,70	1,28	1,60	-
Taurine (pâtée)	0,67	0,50	0,63	
Taurine (croquette)	0,33	0,25	0,25	

Tableau 18 : Apports en différents acides aminés selon la FEDIAF en 2017 en grammes par Mcal pour le chat

L'AAFCO recommande les apports en acides aminés suivants (tableau 19) :

Nutriments	Minimum pour des adultes à l'entretien	Minimum pour la croissance et la reproduction
Protéine	65	75
Arginine	2,60	3,10
Histidine	0,78	0,83
Isoleucine	1,30	1,40
Leucine	3,10	3,20
Lysine	2,08	3,00
Méthionine	0,50	1,55
Méthionine-cystine	1,00	2,75
Phénylalanine	1,05	1,30
Phénylalanine-tyrosine	3,83	4,80
Thréonine	1,83	1,83
Tryptophane	0,40	0,63
Valine	1,55	1,55

Tableau 19 : Apports en différents acides aminés selon l'AAFCO en 2014 en grammes par Mcal pour le chat

Le NRC recommande les apports protéiques et en acides aminés suivants (tableau 20) :

Nutriments	Adulte en g/Mcal		Croissance en g/Mcal après le sevrage		Gestation et lactation en g/Mcal
	MR	AR	MR	AR	AR
Protéine	40	50	45	56,3	53
Arginine	-	1,93	1,93	2,4	3,75
Histidine	-	0,65	0,65	3,3	1,08
Isoleucine	-	1,08	1,08	5,4	1,93
Leucine	-	2,55	2,55	3,2	4,50
Lysine	0,68	0,85	1,70	2,1	2,75
Méthionine	0,34	0,43	0,88	4,4	1,25
Méthionine-cystine	0,68	0,85	1,75	8,8	2,25
Phénylalanine	-	1,00	1,00	1,3	-
Phénylalanine-tyrosine	-	3,83	3,83	4,8	4,78
Thréonine	-	1,30	1,30	1,6	2,23
Tryptophane	-	0,33	0,33	0,40	0,48
Valine	-	1,28	1,28	1,6	2,50
Taurine	0,080	0,10	0,080	0,10	0,13

Tableau 20 : apports en différents acides aminés selon le NRC en 2006 en grammes par Mcal pour le chat (MR : minimum recommandé ; AR = apport recommandé)

Ces apports protéiques recommandés sont des minimums, il n'y a à l'heure actuelle aucune contre-indication à dépasser ces apports protéiques pour des animaux sains.

Pour les apports en acides aminés et en protéines, dans le cas d'un chat entier actif nous suivons les recommandations de l'AAFCO qui sont les plus restrictives et pour un chat ayant besoin d'une restriction énergétique nous prendrons comme référence les recommandations de la FEDIAF pour un besoin énergétique de 75 g/Mcal.

1.3.3. Apports en matières grasses recommandés

Les recommandations concernent à la fois l'apport total en matières grasses nécessaire pour la fabrication d'énergie mais aussi les apports en acides gras essentiels.

1.3.3.1. Chez le chien

La FEDIAF recommande un minimum de 13,75 g/Mcal pour les adultes et 21,25 g/Mcal pour les chiots en croissance et les apports suivants en acides gras essentiels (tableau 21) :

Nutriments	Minimum recommandé en g/Mcal			Maximum recommandé en g/Mcal
	Adulte basé sur un BEE de		Croissance et reproduction	
	95 kcal/kg ^{0,75}	110 kcal/kg ^{0,75}		
Matière grasse	13,75	13,75	21,25	Croissance : 16,25
Acide linoléique (ω6)	3,82	3,27	3,25	-
Acide arachidonique (ω6)	-	-	0,075	-
Acide α-linolénique (ω3)	-	-	0,20	-
EPA + DHA (ω3)	-	-	0,13	-

Tableau 21 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF

L'AAFCO recommande les mêmes apports totaux en matières grasses et des apports légèrement différents concernant les omégas 3 et 6 (tableau 22) :

Nutriments	Minimum pour des adultes à l'entretien en g/Mcal	Minimum pour la croissance et la reproduction en g/Mcal
Matière grasse	13,75	21,25
Acide linoléique (ω6)	2,8	3,3
Acide α-linolénique (ω3)	-	0,2
EPA + DHA (ω3)	-	0,1

Tableau 22 : Apports recommandés en acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chien selon l'AAFCO

Les recommandations du NRC sont les suivantes et sont identiques à celle de l'AAFCO mais plus complètes (tableau 23) :

Nutriments	Apports recommandés pour des adultes à l'entretien en g/Mcal	Apports recommandés pour la croissance en g/Mcal	Apports recommandés pour la reproduction g/Mcal
Matière grasse	13,8	21,3	21,3
Acide linoléique ($\omega 6$)	2,8	3,3	3,3
Acide α -linoléique ($\omega 3$)	0,11	0,2	0,2
EPA + DHA ($\omega 3$)	0,11	0,13	0,13

Tableau 23 : Apports recommandés en acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chien selon le NRC

Pour les apports en matières grasses et acides aminés essentiels chez le chien, nous suivrons les recommandations du NRC qui sont plus complètes que celles de la FEDIAF et de l'AAFCO et donnent des informations sur les apports en acide linoléique et α -linoléique. En cas de restriction énergétique nous pourrions suivre les recommandations de la FEDIAF en ce qui concerne les apports en acide linoléique qui devront être plus importants.

1.3.3.2. Chez le chat

Les trois organisations recommandent des apports en matières grasses de 22,5 g/Mcal quelque soit le stade physiologique du chat.

Les recommandations de la FEDIAF concernant les omégas 3 et 6 sont les suivantes (tableau 24) :

Nutriments	Minimum recommandé en g/Mcal		
	Adulte basé sur un BEE de		Croissance et reproduction
	75 kcal/kg ^{0,67}	100 kcal/kg ^{0,75}	
Matière grasse	22,50	22,50	22,50
Acide linoléique ($\omega 6$)	1,67	1,25	1,38
Acide arachidonique ($\omega 6$)	0,02	0,015	0,05
Acide α -linoléique ($\omega 3$)	-	-	0,05
EPA + DHA ($\omega 3$)	-	-	0,03

Tableau 24 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chat selon la FEDIAF

Les recommandations de l'AAFCO pour le chat sont les suivantes (tableau 25) :

Nutriments	Minimum pour des adultes à l'entretien en g/Mcal	Minimum pour la croissance et la reproduction en g/Mcal
Acide linoléique ($\omega 6$)	1,40	1,40
Acide alpha linoléique ($\omega 3$)	-	0,05
EPA + DHA ($\omega 3$)	0,05	0,05

Tableau 25 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chat selon l'AAFCO

Les recommandations du NRC sont les suivantes (tableau 26) :

Nutriments	Apports recommandés pour des adultes à l'entretien en g/Mcal	Apports recommandés pour la croissance en g/Mcal	Apports recommandés pour la reproduction g/Mcal
Matière grasse	22,5	22,5	22,5
Acide linoléique ($\omega 6$)	1,4	1,4	1,4
Acide α -linoléique ($\omega 3$)	-	0,05	0,05
Acide arachidonique ($\omega 6$)	0,015	0,05	0,05
EPA + DHA ($\omega 3$)	0,025	0,025	0,025

Tableau 26 : Apports recommandés en matières grasses et acides gras essentiels en grammes par Mcal pour le chat selon le NRC

De même que chez le chien, les recommandations du NRC sont les plus complètes et seront donc celles sur lesquelles nous pourrions nous baser pour les chiens adultes entiers et actifs. En cas de restriction énergétique chez l'adulte, les recommandations de la FEDIAF pourront être suivies.

1.3.4. Apports recommandés en glucides

Les carnivores domestiques ont des besoins vitaux en glucose. Le glucose peut être apporté directement par les glucides alimentaires mais une synthèse endogène à partir de protéines ou de matières grasses peut être réalisée. Il n'existe donc pas de recommandations concernant les apports minimums en glucides, que ce soit chez le chien ou chez le chat. Cependant, un apport alimentaire de fibre est essentiel à la bonne santé des cellules digestives.

Néanmoins, il convient de noter qu'un régime ne contenant aucun glucide se doit de contenir suffisamment de protéines pour permettre la néoglucogénèse à partir de certains acides aminés. Ceci est d'autant plus vrai pour certains stades physiologiques (lactation, gestation) où la demande en glucose est importante. Une étude a montré qu'une chienne en gestation devait recevoir 7 grammes de protéines par kilo avec un régime contenant des glucides, contre 12 grammes pour un régime sans glucides. De même, une chienne en

lactation recevant un régime contenant des glucides doit recevoir entre 13 et 18 g de protéines par kilo, contre 30 g pour un régime sans aucun glucide (Kienzle et al., 1989).

1.3.5. Apports recommandés en minéraux

1.3.5.1. Chez le chien

Les apports en minéraux recommandés par la FEDIAF sont présentés dans le tableau 27, ci-dessous.

Nutriments	Unité	Minimum recommandé			
		Adulte basé sur un BEE de		Croissance (≤ 14 semaines) et reproduction	Croissance (≥ 14 semaines)
		95 kcal/kg ^{0,75}	110 kcal/kg ^{0,75}		
Calcium	g/Mcal	1,45	1,25	2,50	2,00
Phosphore	g/Mcal	1,16	1,00	2,25	1,75
Ratio Ca/P	-	1/1			
Potassium	g/Mcal	1,45	1,25	1,10	1,10
Sodium	g/Mcal	0,29	0,25	0,55	0,55
Chlorure	g/Mcal	0,43	0,38	0,83	0,83
Magnésium	g/Mcal	0,20	0,18	0,10	0,10
Cuivre	mg/Mcal	2,08	1,80	2,75	2,75
Iode	mg/Mcal	0,30	0,26	0,38	0,38
Fer	mg/Mcal	10,40	9,00	22,00	22,00
Manganèse	mg/Mcal	1,67	1,44	1,40	1,40
Sélénium	µg/Mcal	87,00	75,00	100,00	100,00
Zinc	mg/Mcal	20,80	18,00	25,00	25,00

Tableau 27 : Minima recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF

La FEDIAF émet aussi des recommandations sur les maxima à ne pas dépasser en ce qui concerne les apports en phosphore et calcium, ils sont présentés dans le tableau 28, ci-dessous.

Nutriments	Unité	Maximum recommandé			
		Adulte basé sur un BEE de		Croissance (≤ 14 semaines) et reproduction	Croissance (≥ 14 semaines)
		95 kcal/kg ^{0,75}	110 kcal/kg ^{0,75}		
Calcium	g/Mcal	6,25	6,25	4,00	4,50
Phosphore	g/Mcal	4,00	4,00	-	-
Ratio Ca/P	-	2/1	2/1	1,6/1	1,8/1

Tableau 28 : Maxima recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF

L'AAFCO recommande les apports en minéraux présentés ci-dessous (tableau 29) :

Nutriments	Minimum pour un adulte à l'entretien	Minimum pour la croissance et la reproduction	Maximum
Calcium (g/Mcal)	1,25	3	4,5
Phosphore (g/Mcal)	1	2,5	4
Ratio Ca/P	1/1	1/1	2/1
Potassium (g/Mcal)	1,5	1,5	-
Sodium (g/Mcal)	0,2	0,8	-
Chlore (g/Mcal)	0,3	1,1	-
Magnésium (g/Mcal)	0,15	0,1	-
Fer (mg/Mcal)	10	22	-
Cuivre (mg/Mcal)	1,83	3,1	-
Manganèse (mg/Mcal)	1,25	1,8	-
Zinc (mg/Mcal)	20	25	-
Iodine (mg/Mcal)	0,25	0,25	-
Selenium (mg/Mcal)	0,08	0,09	-

Tableau 29 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon l'AAFCO

Les apports recommandés par le National Research Council sont les suivants (tableau 30) :

Nutriments	Adulte		Croissance	Gestation et lactation
	MR	AR	AR	AR
Calcium (g/Mcal)	0,50	1,0	3,0	1,9
Phosphore (g/Mcal)	-	0,75	2,5	1,2
Magnésium (mg/Mcal)	45	150	100	150
Sodium (mg/Mcal)	75	200	550	500
Potassium (g/Mcal)	-	1,0	1,1	0,9
Chlore (mg/Mcal)	-	300	720	750
Fer (mg/Mcal)	-	7,5	22	17
Cuivre (mg/Mcal)	-	1,5	2,7	3,1
Zinc (mg/Mcal)	-	15	25	24
Manganèse (mg/Mcal)	-	1,2	1,4	1,8
Sélénium (µg/Mcal)	-	87,5	87,5	87,5
Iode (µg/Mcal)	175	220	220	220

Tableau 30 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chien selon le NRC

Pour un chien n'ayant pas besoin de restriction énergétique (chien entier actif), nous nous référerons, comme expliqué précédemment, aux recommandations de l'AAFCO. De même, pour un chien ayant besoin d'une restriction énergétique (stérilisation, peu actif...), nous pourrions nous référer aux recommandations de la FEDIAF calculés pour des besoins énergétiques moins importants.

1.3.5.2. Chez le chat

Les apports recommandés en minéraux pour le chat par la FEDIAF et l'AAFCO sont les suivants (tableau 31 et 32):

Nutriments	Unité	Minimum recommandé			Maximum recommandé
		Adulte basé sur un BEE de		Croissance et reproduction	
		75 kcal/kg ^{0,67}	100 kcal/kg ^{0,67}		
Calcium	g/Mcal	1,97	1,48	2,50	-
Phosphore	g/Mcal	1,67	1,25	2,10	-
Ratio Ca/P	-	1/1			Croissance : 1,5/1 Adulte : 2/1
Potassium	g/Mcal	2,00	1,50	1,50	-
Sodium	g/Mcal	0,25	0,19	0,40	-
Chlorure	g/Mcal	0,39	0,29	0,60	-
Magnésium	g/Mcal	0,13	0,10	0,13	-
Cuivre	mg/Mcal	1,67	1,25	2,50	-
Iode	mg/Mcal	0,43	0,33	0,45	-
Fer	mg/Mcal	26,70	20,00	20,00	-
Manganèse	mg/Mcal	1,67	1,25	2,50	-
Sélénium	µg/Mcal	100,00	75,00	75,00	-
Zinc	mg/Mcal	25,00	18,80	18,80	-

Tableau 31 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chat selon la FEDIAF

Nutriments	Minimum pour un adulte à l'entretien	Minimum pour la croissance et la reproduction	Maximum
Calcium (g/Mcal)	1,5	2,5	-
Phosphore (g/Mcal)	1,25	2,0	-
Potassium (g/Mcal)	1,5	1,5	-
Sodium (g/Mcal)	0,5	0,5	-
Chlore (g/Mcal)	0,75	0,75	-
Magnésium (g/Mcal)	0,1	0,2	-
Fer (mg/Mcal)	20	20	-
Cuivre (mg/Mcal)	1,25 (croquettes) 1,25 (pâtée)	3,75 (croquettes) 2,10 (pâtée)	-
Manganèse (mg/Mcal)	1,90	1,90	-
Zinc (mg/Mcal)	18,8	18,8	-
Iodine (mg/Mcal)	0,15	0,45	2,25
Selenium (mg/Mcal)	0,075	0,075	-

Tableau 32 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chat selon l'AAFCO

Le NRC recommande les apports minéraux suivants (tableau 33) :

Nutriments	Adulte		Croissance		Gestation et lactation
	MR	AR	MR	AR	AR
Calcium (g/Mcal)	0,40	0,72	1,3	2,0	2,7
Phosphore (g/Mcal)	0,35	0,64	1,2	1,8	1,9
Magnésium (mg/Mcal)	50	100	40	100	125
Sodium (mg/Mcal)	160	170	310	350	670
Potassium (g/Mcal)	-	1,3	0,67	1,0	1,3
Chlore (mg/Mcal)	-	240	190	225	1000
Fer (mg/Mcal)	-	20	17	20	20
Cuivre (mg/Mcal)	-	1,2	1,1	2,1	2,2
Zinc (mg/Mcal)	-	18,5	12,5	18,5	15
Manganèse (mg/Mcal)	-	1,2	-	1,2	1,8
Sélénium (µg/Mcal)	-	75	-	75	75
Iode (µg/Mcal)	320	350	30	450	450

Tableau 33 : Apports recommandés en minéraux en grammes par Mcal pour le chat selon le NRC (MR : Minimum recommandé ; AR = apports recommandés)

Pareillement au chien, nous suivons les recommandations de l'AAFCO pour les chats entiers actifs (c'est-à-dire ayant accès à l'extérieur) car elles tiennent compte de la qualité moyenne des matières premières utilisées dans les aliments industriels (au contraire de la NRC où les recommandations sont conçues pour des matières premières d'excellente qualité). En cas de besoin énergétique diminué (chat stérilisé ou peu actif), nous nous référons aux recommandations de la FEDIAF, données pour un besoin énergétique moins important.

1.3.6. Apports recommandés en vitamines

1.3.6.1. Chez le chien

Les apports recommandés par la FEDIAF, l'AAFCO et le NRC concernant les vitamines sont reportés dans les tableaux ci-dessous (tableaux 34 à 36) :

Nutriments	Unité	Minimum recommandé			
		Adulte basé sur un BEE de		Croissance (≤ 14 semaines) et reproduction	Croissance (≥ 14 semaines)
		95 kcal/kg ^{0,75}	110 kcal/kg ^{0,75}		
Vitamine A	UI/Mcal	1 754,00	1 515,00	1 250,00	1 250,00
Vitamine D	UI/Mcal	159,00	138,00	138,00	125,00
Vitamine E	UI/Mcal	10,40	9,00	12,50	12,50
Thiamine	mg/Mcal	0,62	0,54	0,45	0,45
Riboflavine	mg/Mcal	1,74	1,50	1,05	1,05
Acide pantothénique	mg/Mcal	4,11	3,55	3,00	3,00
Vitamine B6	mg/Mcal	0,42	0,36	0,30	0,30
Vitamine B12	µg/Mcal	9,68	8,36	7,00	7,00
Niacine	mg/Mcal	4,74	4,09	3,40	3,40
Acide folique	µg/Mcal	74,70	64,50	54,00	54,00
Biotine	µg/Mcal	-	-	-	-
Choline	mg/Mcal	474,00	409,00	425,00	425,00
Vitamine K	µg/Mcal	-	-	-	-

Tableau 34 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF

Nutriments	Minimum pour un adulte à l'entretien	Minimum pour la croissance et la reproduction	Maximum
Vitamine A (UI/Mcal)	1250	1250	62500
Vitamine D (UI/Mcal)	125	125	750
Vitamine E (UI/Mcal)	12,5	12,5	
Thiamine (mg/Mcal)	0,56	0,56	
Riboflavine (mg/Mcal)	1,3	1,3	
Acide pantothénique (mg/Mcal)	3	3	
Niacine (mg/Mcal)	3,4	3,4	
Pyridoxine (mg/Mcal)	0,38	0,38	
Acide folique (mg/Mcal)	0,054	0,054	
Vitamine B12 (mg/Mcal)	0,007	0,007	
Choline (mg/Mcal)	340	340	

Tableau 35 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon l'AAFCO

Nutriments	Apports recommandés pour un adulte à l'entretien	Apports recommandés pour la croissance	Apports recommandés pour la lactation et la gestation
Vitamine A (retinol equiv/Mcal)	379	379	379
Vitamine D (µg/Mcal)	3,4	3,4	3,4
Vitamine E (mg/Mcal)	7,5	7,5	7,5
Vitamine K (mg/Mcal)	0,41	0,41	0,41
Thiamine (mg/Mcal)	0,56	0,34	0,56
Riboflavine (mg/Mcal)	1,3	1,32	1,3
Pyridoxine (mg/Mcal)	0,375	0,375	0,375
Niacine (mg/Mcal)	4,25	4,25	4,25
Acide pantothénique (mg/Mcal)	3,75	3,75	3,75
Vitamine B12 (µg/Mcal)	8,75	8,75	8,75
Acide folique (µg/Mcal)	67,5	68	67,5
Choline (mg/Mcal)	425	425	209

Tableau 36 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon la NRC

Pareillement aux autres recommandations, nous nous servons des recommandations de l'AAFCO comme référence pour les chiens entiers actifs et de celles de la FEDIAF pour les chiens aux besoins énergétiques diminués.

1.3.6.2. Chez le chat

Les apports recommandés en vitamines respectivement par la FEDIAF, l'AAFCO et la NRC sont présentés dans les tableaux ci-dessous (tableaux 37 à 39) :

Nutriments	Unité	Minimum recommandé		
		Adulte basé sur un BEE de		Croissance et reproduction
		75 kcal/kg ^{0,67}	100 kcal/kg ^{0,67}	
Vitamine A	UI/Mcal	1 111,00	833,00	2 250,00
Vitamine D	UI/Mcal	83,30	62,50	70,00
Vitamine E	UI/Mcal	12,70	9,50	9,50
Thiamine	mg/Mcal	1,47	1,10	1,40
Riboflavine	mg/Mcal	1,05	0,80	0,80
Acide pantothénique	mg/Mcal	1,92	1,44	1,43
Vitamine B6	mg/Mcal	0,83	0,63	0,63
Vitamine B12	µg/Mcal	5,87	4,40	4,50
Niacine	mg/Mcal	10,50	8,00	8,00
Acide folique	µg/Mcal	253,00	188,00	188,00
Biotine	µg/Mcal	20,00	15,00	17,50
Choline	mg/Mcal	800,00	600,00	600,00
Vitamine K	µg/Mcal	-	-	-

Tableau 37 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chien selon la FEDIAF

Nutriments	Minimum pour un adulte à l'entretien	Minimum pour la croissance et la reproduction	Maximum
Vitamine A (UI)	833,00	1667,00	83 325,00
Vitamine D (UI)	70,00	70,00	7 520,00
Vitamine E (UI)	10,00	10,00	
Vitamine K	0,025	0,025	
Thiamine (mg)	1,40	1,40	
Riboflavine (mg)	1,00	1,00	
Acide pantothénique (mg)	1,44	1,44	
Niacine (mg)	15,00	15,00	
Pyridoxine (mg)	1,00	1,00	
Acide folique (mg)	0,2	0,20	
Biotine (mg)	0,018	0,018	
Vitamine B12 (mg)	0,005	0,005	
Choline (mg)	600,00	600,00	
Taurine	0,25 (croquettes) 0,50 (pâtée)	0,25 (croquettes) 0,50 (pâtée)	

Tableau 38 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chat selon l'AAFCO

Nutriments	Apports recommandés pour un adulte à l'entretien	Apports recommandés pour la croissance	Apports recommandés pour la lactation et la gestation
Vitamine A (retinol equiv/Mcal)	250	250	500
Vitamine D (µg/Mcal)	1,75	1,4	1,75
Vitamine E (mg/Mcal)	10	9,4	7,8
Vitamine K (mg/Mcal)	0,25	0,25	0,25
Thiamine (mg/Mcal)	1,4	1,4	1,56
Riboflavine (mg/Mcal)	1,0	1,0	1,0
Pyridoxine (mg/Mcal)	0,625	0,625	0,625
Niacine (mg/Mcal)	10,0	10,0	10,0
Acide pantothénique (mg/Mcal)	1,44	1,43	0,19
Vitamine B12 (µg/Mcal)	5,6	5,6	5,6
Acide folique (µg/Mcal)	188	188	187
Biotine (µg/Mcal)	18,75	18,75	18,75
Choline (mg/Mcal)	637	637	637

Tableau 39 : Apports recommandés en vitamines en grammes par Mcal pour le chat selon le NRC

Pareillement aux recommandations ultérieures, nous nous servons des recommandations de l'AAFCO comme référence pour les chiens entiers actifs et de celles de la FEDIAF pour les chiens aux besoins énergétiques diminués.

1.4. Adaptations physiologiques des carnivores domestiques aux régimes modernes

Le chien et le chat font partie de l'ordre des carnivores. Cependant, comme présenté précédemment, il existe des différences métaboliques et digestives non négligeables entre le chien et le chat. Ces différences expliquent la catégorisation du chien comme un carnivore à tendance omnivore et le chat comme un carnivore strict. Elles trouvent en partie leur explication dans l'évolution différente de ces deux espèces depuis leur domestication.

1.4.1. Le chien, un animal omnivore ?

La domestication du chien remonte entre 12 000 et 33 000 ans avant notre ère (Davis et al., 1978 ; Ovodov et al., 2011). Différentes études ont mis en évidence 36 régions génomiques qui ont été la cible de la sélection durant la domestication. Une partie de ces régions code pour des protéines intervenant dans le fonctionnement du système nerveux et le développement. La pression de sélection sur ces gènes est probablement à l'origine des modifications comportementales du chien par rapport au loup. Une dizaine de gènes modifiés par la domestication concerne la fonction digestive et en particulier la digestion des céréales et le métabolisme des graisses. Il a été mis en évidence que la domestication du chien s'est accompagnée entre autre de la sélection de trois gènes : le gène *AMY2B*, codant pour l' α -amylase, le gène *MGAM*, codant pour la maltase-glucoamylase, qui permet l'hydrolyse du maltose en glucose et le gène *SGLT1*, codant pour le transporteur *SGLT1*, qui permet l'absorption du glucose présent dans la lumière intestinale. La sélection de ces trois gènes permet au chien, contrairement au loup, de digérer efficacement les glucides et en particulier les céréales (Axelsson et al., 2013 ; Arendt et al., 2016). Cette capacité à digérer les céréales est a priori concomitante avec la mise en place de l'agriculture lors de la préhistoire.

Cependant, une variation interspécifique chez le chien de l'expression du gène *AMY2B* codant pour l'amylase est à noter. En effet, le nombre de copies du gène varie de 4 à 34 copies selon les chiens, contre seulement 2 à 8 chez le loup. Il existe donc probablement une tolérance à un régime riche en céréales très variable selon les individus. Le nombre de copie du gène semble varier selon les races, ainsi les Samoyèdes ou les chiens de traîneau présentent peu de copies du gène au contraire des Bergers Allemands et des English Springer Spaniels qui portent en moyenne plus de 10 copies du gène. La variation de l'expression du gène est au final nettement corrélée à la race du chien (Arendt et al., 2014 ; Ollivier et al., 2016).

Différentes études ont montré que le chien, s'il en avait la possibilité, se tournait spontanément vers des régimes où les protéines apportaient 30 % de l'énergie, les lipides 63 % et les glucides 7 % (Tôrres, Hickenbottom, Rogers 2003; Romsos, Ferguson 1983; Hewson-Hughes et al. 2013). Le choix d'une alimentation très riche en lipides est probablement dû à une augmentation de l'appétence des régimes riches en matières grasses.

Le chien se tournerait donc spontanément vers des régimes beaucoup moins riches en protéines que le chat qui quant à lui est resté, du fait de sa domestication plus récente et de son rôle différent du chien, un carnivore strict.

1.4.2. Le chat, un carnivore strict ?

La domestication du chat *Felis catus* remonterait à environ 10 000 ans (O'Brien et al., 2008 ; Vigne et al., 2004). Les premiers spécimens ont été retrouvés en Égypte. Le chat est issu de la domestication d'un chat sauvage nord africain *Felis silvestris lybica*. Il est toujours utilisé en tant que chasseur de nuisibles. Les effets de la domestication du chat sont beaucoup plus modestes que ceux du chien. En effet, le chat cohabite depuis moins longtemps avec l'homme et son régime alimentaire n'a pas été influencé par celui-ci puisqu'il a été domestiqué dans le but de chasser des proies. Au contraire du chien, qui a été domestiqué en grande partie pour la chasse pour ramener ou pister le gibier mais ne le consomme pas. Le chien a donc été nourri comme ses maîtres ce qui explique son évolution sur le plan alimentaire.

Les différences génomiques entre le chat domestique et le chat sauvage concernent majoritairement des gènes impliqués dans la modification du comportement, qui explique une plus grande docilité des chats domestiques, et des gènes codant pour la couleur du pelage (Montague et al., 2014).

Lorsqu'on lui laisse le choix de plusieurs régimes alimentaires différents, le chat domestique se tourne vers une alimentation comprenant 26 g de protéines par jour, 9 g de graisses par jour et 8 g de glucides par jour. Cela nous donne des aliments avec le profil nutritionnel suivant : 52 % de l'énergie apportée par les protéines, 36 % par les matières grasses et 12 % par les glucides (Hewson-Hughes et al., 2011). Des études effectuées, cette fois ci chez les chats sauvages, ont montré un profil nutritionnel où 52 % de l'énergie est apportée par les protéines, 46 % par les matières grasses et 2 % par les glucides (Plantinga, Bosch, Hendriks 2011). Ces similitudes entre chats domestiques et chats sauvages sont dues à une faible évolution du chat : celui-ci est resté un carnivore strict, contrairement au chien. L'ingestion plus importante de glucides chez le chat domestique que chez le chat sauvage pourrait cependant révéler une certaine adaptation du chat au régime que lui a proposé l'homme au cours de sa domestication.

2. Présentation des différents régimes alimentaires non conventionnels les plus courants chez les carnivores domestiques

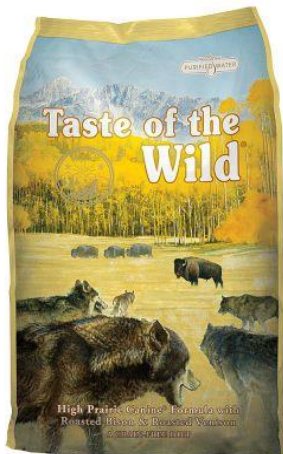
Depuis plusieurs années, les propriétaires adoptent des régimes alimentaires originaux pour leurs animaux de compagnie, se détachant des traditionnels régimes industriels (croquettes et pâtée) ou des régimes ménagers classiques (ration ménagère). Ces régimes sont souvent inspirés de modes alimentaires humaines émergentes. Les plus courantes à l'heure actuelle sont : les croquettes sans céréales, les régimes à base d'aliments crus et les régimes végétariens et végans. Ces régimes sont souvent adoptés par les propriétaires dans le but d'améliorer l'alimentation de leurs carnivores domestiques ou pour des raisons éthiques. Sont-ils pour autant adaptés aux chiens et aux chats et meilleur pour leur santé ?

2.1. Croquettes sans céréales

Depuis quelques années, les croquettes sans céréales, se sont fortement développées en France. Les propriétaires de chiens et de chats sont de plus en plus nombreux à être à la recherche d'une alimentation qu'ils qualifient de « naturelle », plus proche de la physiologie du chien et du chat, plus riche en viande et donc, pour certains propriétaires, sans céréales. En effet, un des arguments repris régulièrement par les adeptes du sans céréales est que les loups et les chats sauvages n'en consomment pas dans leur habitat naturel et que par conséquent le chien comme le chat ne sont pas conçus pour les valoriser et les assimiler correctement.

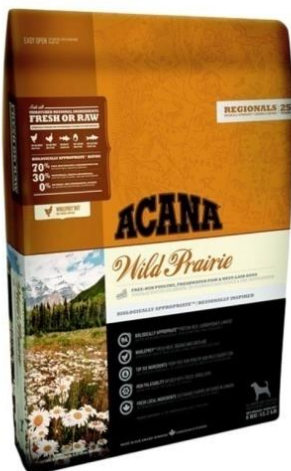
Les arguments marketing présents sur les paquets de croquettes sans céréales sont très souvent les mêmes : utilisation de représentations de loups pour les croquettes pour chien, mise en avant du retour au naturel/à l'état sauvage ("biologically appropriate"), paysages naturels. Les marques mettent en avant une composition plus riche en viande que les croquettes traditionnelles : « 70 % de poulet élevé en plein air », « 85 % de poulet, poisson et œuf »...

Quelques exemples de croquettes sans céréales :



Ingrédients de « Taste of the wild »

Bison, gibier, agneau déshydraté, poulet déshydraté, œufs, patates douces, petit-pois, huile de colza, bison rôti, gibier rôti, arôme naturel, pulpe de tomate, poisson de l'océan déshydraté, chlorure de choline, racines de chicorée, tomates, myrtilles, framboises, extraits de *Yucca schidigera*, ferments lactiques (*Enterococcus Faecium*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* et *Lactobacillus plantarum*, *Trichoderma longierbrachiatum*), vitamines (vitamine A, B1, B2, B6, B12, C, D, E), minéraux : protéinate de fer, zinc, cuivre et manganèse, sulfate de fer, zinc, cuivre et manganèse, iodure de potassium, oxyde manganeux, biotine, panthoténate de calcium, sélénite de sodium, acide folique.



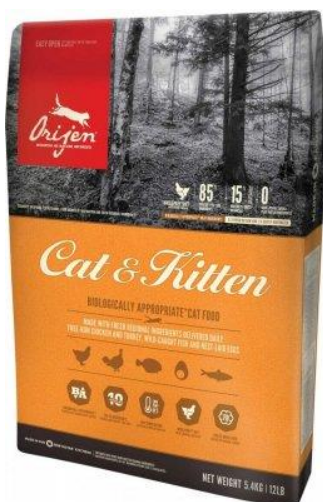
Ingrédients d' « Acana Wild Prairie pour chien » :

Poulet frais (8 %), dinde fraîche (8 %), abats de poulet frais (foie, cœur, rognons) (8 %), poulet déshydraté (8 %), dinde déshydratée (8 %), hareng déshydraté (8 %), petits pois entiers, lentilles rouges, pois chiches, œufs entiers frais (4 %), doré jaune frais (4 %), truite sauvage fraîche (4 %), gras de poulet (4 %), abats de dinde fraîche (foie, cœur, rognons) (3 %), lentilles vertes, haricots Pinto, pois jaunes entiers, luzerne séchée au soleil, huile de saumon (2 %), fibres de lentilles, cartilages de poulet séchés (1 %), varech brun, potiron frais, potiron frais, panais frais, chou frais, épinards frais, feuilles de moutarde brune fraîches, feuilles de navet fraîches, carottes fraîches, pommes Red Delicious fraîches, poires Bartlett fraîches, foie lyophilisé (poulet et dinde) (0,1 %), sel, canneberges fraîches, myrtilles fraîches, racines de chicorée, curcuma, chardon Marie, racines de bardane, lavande, racines de guimauve, cynorhodon.



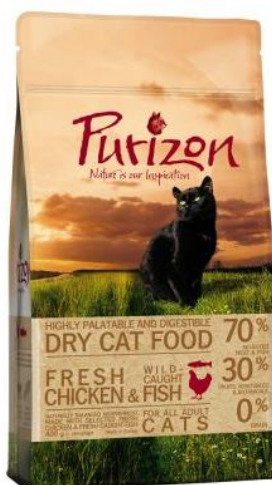
Ingrédients de « Wolf of Wilderness, the taste of Scandinavia » :

Poulet frais (22 %), poulet déshydraté moulu (18 %), saumon frais (source de DHA et d'EPA) (7 %), dinde déshydratée moulue (5 %), foie de poulet (5 %), hareng déshydraté moulu (5 %), pommes de terre jaunes, gras de poulet (5 %), patates douces, pois, doré jaune frais (3 %), œufs entiers frais (3 %), dinde fraîche (3 %), grand corégone frais (2 %), luzerne séchée au soleil, fibre de pois, hareng frais (2 %), algues marines, citrouille, racine de chicorée, carottes, épinards, feuilles de navet, pommes, canneberges, myrtilles (bleuets), racine de réglisse, racine d'angélique, fenugrec, fleurs de souci, fenouil doux, feuilles de menthe poivrée, fleurs de camomille matricaire, pissenlits, sarriette, romarin, *Lactobacillus acidophilus*, *Enterococcus faecium*.



Ingrédients d' « Orijen cat & kitten »:

Viande de poulet fraîche (18 %), viande de dinde fraîche (7 %), œufs entiers frais (5 %), foie de poulet frais (5 %), plie entière fraîche (4 %), hareng entier frais (4 %), foie de dinde frais (4 %), cœur de poulet frais (4 %), cœur de dinde frais (4 %), cou de poulet frais (4 %), poulet (déshydraté, 4 %), dinde (déshydraté, 4%), maquereau entier (déshydraté, 4 %), sardines entières (déshydratées, 4 %), hareng entier (déshydraté, 4 %), gras de poulet (3 %), lentilles rouges, pois verts, lentilles vertes, pois chiches, pois jaunes, fibre de lentilles, haricots pinto, haricots ronds blancs, cartilage de poulet (déshydraté, 1 %), huile de hareng (1 %), foie de poulet (lyophilisé), foie de dinde (lyophilisé), citrouille entière fraîche, courge musquée entière fraîche, courgettes entières fraîches, panais entiers frais, carottes fraîches, pommes Red Delicious entières fraîches, poires Bartlett entières fraîches, chou vert frisé frais, épinards frais, feuilles de betteraves fraîches, feuilles de navet fraîches, varech brun, canneberges entières, bleuets entiers (myrtilles), baies de Saskatoon, racine de chicorée, curcuma, chardon marie, racine de bardane, lavande, racine de guimauve, fruits de l'églantier.



Ingrédient de « Purizon » :

Poulet frais désossé (30 %), poulet déshydraté (28 %), pommes de terre (18 %), graisse de poulet (5 %), œuf déshydraté (2 %), hareng frais sans arête (1,5 %), hareng déshydraté (1,5 %), huile de poisson (100 % d'huile de hareng), protéines animales hydrolysées, fibres de petits pois, carottes déshydratées, luzerne séchée (1,6 %), inuline, fructo-oligosaccharides, manno-oligosaccharides, grenade déshydratée (0,5 %), pomme déshydratée, épinards déshydratés, psyllium (0,3 %), cassis déshydraté, orange douce déshydratée, myrtilles déshydratées, chlorure de sodium, levure de bière déshydratée, racines de curcuma (0,2 %), glucosamine (0,12 %), sulfate de chondroïtine (0,09 %).

Certaines marques, souvent importés du Canada ou des États-Unis, proposent aussi des sources de protéines animales peu communes en Europe : bison, élan... La fabrication de croquettes nécessite obligatoirement un apport en amidon qui permet la cohésion et la bonne tenue de celles-ci. Les céréales sont une source importante. Dans les croquettes sans céréales, l'amidon est apporté par de la pomme de terre, de la patate douce ou encore des légumineuses telles que le pois.

Le nombre d'ingrédients est souvent plus important que dans la composition des croquettes conventionnelles avec la présence de nombreux légumes différents, d'herbes aromatiques et de fruits .

2.2. Régime à base d'aliments crus

2.2.1. Le régime BARF

Un autre régime de plus en plus plébiscité par les propriétaires de chiens ou de chats consiste en des rations préparées à la maison à base d'aliments uniquement crus. Ce type d'alimentation est choisi par un certain nombre de propriétaires car il serait plus proche de l'alimentation physiologique du loup et des carnivores.

Le régime le plus plébiscité pour le chien est le régime BARF (Biologically Appropriate Raw Food ou Bone and Raw Food) inventé par le docteur Ian Billinghurst dans les années 1990. Selon lui, depuis les années 30, la santé des chiens décline suite à l'introduction de la nourriture industrielle qui serait à l'origine de problèmes de peau, de maladie parodontale, de troubles digestifs et de la reproduction, de problèmes ostéo-articulaires chez le jeune chien, de cancer et de maladies dégénératives. Ses affirmations reposent sur ses observations personnelles. Il présente la cuisson comme néfaste, détruisant les vitamines, les enzymes présents dans les aliments crus et permettant selon lui une meilleure digestion, les anti-oxydants et produisant des substances chimiques cancérigènes (Billinghurst, 1993).

Le docteur Ian Billinghurst propose donc un régime pour chien adulte composé de :

- 60 à 70 % d'os charnus crus avec une proportion d'os égale à celle de viande distribuée quotidiennement ;
- 10 % d'abats dont le principal distribué doit être le foie ;
- 15 % de légumes/végétaux avec 70% de légumes verts : épinards, laitues, choux de Bruxelles... et 30 % de racines (radis, carottes, betteraves...) qui doivent être distribués crus et mixés pour permettre une meilleure digestion de la cellulose ;
- 5 % de fruits, distribués là aussi mixés et crus ;
- 10 à 20 % de suppléments : œufs entiers avec coquilles, yaourt, huiles végétales ou animales, ail, vinaigre...

Les apports en fruits et légumes, qui ne font a priori pas partie d'un régime carnivore, sont justifiés par le fait que le loup, lorsqu'il dévore une proie, ingère aussi le contenu de son estomac. La quantité totale d'aliments à distribuer doit représenter 2 à 3 % du poids vif du chien adulte.

Chaque repas n'est pas censé être équilibré mais le régime sur trois semaines doit l'être (Billinghurst, 1993).

2.2.2. Le régime Whole Prey

Un autre grand type de régime à base de viande crue a été proposé par le docteur Tom Lonsdale. Il s'agit du régime Whole Prey Model qui s'affranchit la plupart du temps de la distribution de tous produits végétaux. Il consiste, comme son nom l'indique à proposer un régime dont la composition se rapproche le plus possible de celle d'une proie entière. Les apports sont uniquement composés de viande crue, d'os, d'abats et d'œufs et se rapprochent donc plus du régime alimentaire du loup. Cependant, les apports végétaux ne sont pas totalement exclus puisque les organes digestifs des herbivores en contiennent et peuvent être ingérés par le loup, ils peuvent donc être distribués de manière exceptionnelle. Les restes de tables en petite quantité peuvent aussi être acceptés puisque, selon le docteur Lonsdale, les carnivores chassent parfois des animaux omnivores et ingèrent leur contenu stomacal et intestinal. Selon lui, la distribution d'os charnus n'entraîne absolument aucun problème de santé chez le carnivore que ce soit le chien ou le chat. Il préconise - pour les adultes - un repas par jour et un jeûne d'un jour une à deux fois par semaine pour se rapprocher de la prise alimentaire du loup (Lonsdale, 2001). En ce qui concerne les quantités, le docteur Lonsdale conseille un apport de 3 % du poids vif en os charnus pour les chiens de petite taille contre 1 % pour ceux de grande taille. Il est recommandé de passer directement à une alimentation exclusivement crue sans effectuer de mélange avec l'alimentation précédente. Lors du passage à l'alimentation crue, il recommande d'utiliser un seul type de viande (poulet en général) pendant un minimum d'une semaine pour permettre au système digestif de s'adapter puis d'alterner les différents types de viande après introduction progressive de chacune d'entre elles (tableau 40).

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine A	Boeuf	Poisson	Poulet	Agneau	Porc	Poulet	Bœuf
Semaine B	Poulet	Lapin	Poulet	Poisson	Dinde	Abats	Agneau

Tableau 40 : Exemple de menu pour un chien sur deux semaines en suivant le modèle Whole Prey

La communauté promulguant une alimentation à base d'aliments crus déconseille généralement le régime BARF pour les chats. Les sites spécialisés recommandent la plupart du temps de se tourner vers le modèle du Whole Prey et de proposer des rations de ce type : viandes ou poissons (80 %), os (10 %) et abats (10 %). De même, le jeûne n'est pas recommandé pour le chat et la distribution de trois repas par jour chez l'adulte est préconisée. Certains sites conseillent l'ajout d'huile de poissons gras et d'œuf (un œuf cru et entier par semaine).

2.2.3. Produits BARF commercialisés et menus préconisés par des sites spécialisés

A l'heure actuelle de nombreux sites internet français prodiguent des conseils pour nourrir son chien ou son chat à base d'alimentation crue : parmi les sites francophones les plus connus on retrouve les sites « Barf asso » et « Tribu carnivore ». Ces sites proposent des calculateurs de rations permettant selon l'âge et le poids du chien de déterminer les quantités des différents ingrédients à distribuer et reprennent les principes expliqués par le Dr Billinghamurst et Lonsdale en les adaptant parfois selon leur propre expérience.

Ainsi certains sites proposent des idées de repas à base d'alimentation crue comme ceux présenté dans la figure 19, ci-dessous.

- Matin : collier d'agneau + purée d'épinards + fromage fondu
- Soir : dos et aile de poulet + purée de carotte-banane + huile de foie de morue + vinaigre de cidre + levure de bière
- Matin : foies de volaille + pomme
- Soir : cuisses de poulet + purée brocolis-carottes + huile de noix + vinaigre de cidre (1 à 2 cuillères à soupe selon la taille du chien) + levure de bière
- Matin : poitrine de bœuf + purée de laitue-tomate-pêche + vinaigre de cidre
- Soir : tripes de bœuf + algues + levure de bière
- Matin : queue de veau + purée d'endives-courgette-orange
- Soir : sardines fraîches entières en purée + œuf + levure de bière
- Matin : kiwi + yaourt + levure de bière + algues
- Soir : queue de veau + cœur de veau + purée de feuille de chêne (salade)-poireau + huile de pépins de raisin
- Matin : cuisses de canard + purée de scarolle (salade) + huile de colza
- Soir : cuisse, carcasse et aile de poulet + purée de navet blanc-abricot + levure de bière + vinaigre de cidre
- Matin : purée de saumon frais (vidé et décongelé) + un yaourt nature + filet d'huile d'olive + levure de bière + algues
- Soir : queue de bœuf + rognons de bœuf + purée de courgette-Epinards + vinaigre de cidre
- Matin : pain complet sec + fromage blanc + levure de bière
- Soir : dos de lapin + riz très cuit + purée de blettes-carotte + huile de colza
- Matin : sardines ‡ l'huile + poire
- Soir : cuisses de poulet + foies de volailles + purée d'aubergine-persil-ail + levure de bière
- Matin : mandarine + yaourt nature
- Soir : queue de veau + cervelle de veau + purée de cresson-poireau + algues + levure de bière + huile de poissons + vinaigre de cidre

Figure 16 : Exemple de quelques repas BARF pour un chien (d'après Tribu carnivore, 2014)

Depuis quelques années, des industriels ont mis au point des aliments complets, le plus souvent congelés, réalisés à partir de viande crue, d'os, de fruits et de légumes. Ces aliments complets BARF peuvent être directement utilisés par les propriétaires et évitent à ceux-ci de confectionner les repas de leurs animaux. D'autres entreprises proposent divers

morceaux de viande, des abats, des mélanges de légume pour pouvoir concevoir sa ration mais aussi des pièces plus atypiques telles que les panses de bœuf ou d'agneau. Ces diverses préparations sont disponibles sur internet.

2.3. Régime végan et végétarien

Le véganisme est « un mode de vie alliant une alimentation exclusive par les végétaux (végétalisme) et le refus de consommer tout produit (vêtements, chaussures, cosmétiques...) issu des animaux ou de leur exploitation » (Éditions Larousse, 2018)

Un régime végétarien quant à lui est un « régime alimentaire excluant toute chair animale (viande, poisson), mais qui admet en général la consommation d'aliments d'origine animale comme les œufs, le lait et les produits laitiers (fromage, yaourts) » (Éditions Larousse, 2018b).

Ce type de régime de plus en plus répandu chez l'homme commence à se développer aussi chez les carnivores domestiques. L'un des arguments très souvent utilisés par les fabricants de ce type d'aliments est l'utilisation de ces régimes en cas de problème d'allergie ou d'intolérance alimentaire, car ils permettent d'éviter toutes les protéines animales retrouvées dans les croquettes « classiques ». À l'heure actuelle, aucune marque vétérinaire en France ne propose d'aliment végétarien, mais ce n'est pas le cas dans d'autres pays comme le Canada, où l'on retrouve des références d'aliment Royal Canin végétarien dans la gamme vétérinaire.

Quelques exemples de croquettes et pâtée végétarienne ou végétalienne :



Ingrédients de « Yarra Vega dog food » :

Graine de soja entier biologique, grain de blé complet biologique, semoule de blé biologique, maïs jaune biologique, graine de tournesol biologique (source de fibre), minéraux, huile de noix de coco biologique, levure de brasseur (source de protéine hautement digestible et d'acides aminés), lupin blanc entier biologique (source d'acides aminés essentiels), baobab biologique (source de calcium et de potassium), algue déshydratée biologique.



Ingrédients de « Royal Canin Végétarienne » :

Gruau d'avoine, brisure de riz, protéines de pommes de terre, huile de noix de coco, arômes naturels, pulpe de betterave ordinaire séchée, marc de tomate, graine de lin, carbonate de calcium, phosphate monocalcique, marc de carotte, chlorure de potassium, sulfate de calcium, sel, fructooligosaccharides, chlorure de choline, taurine, vitamines : acétate de DL-alpha-tocophérol (source de vitamine E), L-ascorbyl-2-polyphosphate (source de vitamine C), biotine, D-pantothénate de calcium, acétate de vitamine A, supplément de niacine, chlorhydrate de pyridoxine (vitamine B6), mononitrate de thiamine (vitamine B1), supplément de vitamine B12, supplément de riboflavine, acide folique, supplément de vitamine D3, oligoéléments : protéinate de zinc, oxyde de zinc, sulfate de fer, protéinate de manganèse, oxyde manganéux, sulfate de cuivre, iodate de calcium, sélénite de sodium, protéinate de cuivre, L-carnitine, carotène, extrait de romarin, conservé avec un mélange de tocophérols et d'acide citrique.



Ingrédients de « Benevo Adult Original pour chat » :

Soja, blé, farine de gluten de maïs, maïs, riz blanc, huile de tournesol, pulpe de betterave à sucre, levure de bière, arôme à base de levure, graines de lin, algues, minéraux, vitamines, Fructo-Oligosaccharides (FOS probiotiques) (0,09 %), spiruline, extraits de *Yucca Schidigera* (0,01 %)

Additifs nutritionnels : vitamines : vitamine A (asretinyl acetate) 26000 IU, vitamine D2 (ergocalciferol) 2 200 IU, vitamine E 220 IU. Oligoéléments: fer (sulfate de fer monohydrate) 240 mg, zinc (sulfate de zinc monohydrate) 267 mg, manganèse (Sulfate de manganèse monohydraté) 90 mg, cuivre (sulfate de cuivre) 30 mg, sélénium (sélénite de sodium) 0,64 mg, acide linoléique (oméga 6) 6,79 %, acide linoléique (oméga 3) 0,26 %, acide aminé : taurine 910 mg.



Ingrédients de la pâtée « Benevo duo » pour chat et chien :

Eau, pomme de terre, carottes, gruau d'avoine, huile de tournesol, pois, riz brun, tomates, myrtilles, canneberges, levure de bière.

Additifs nutritionnels :

Vitamines : A, D 2200 IU/kg, E, C, B3, B5, B2, B1, B6, B12, B7, acide folique. Oligoéléments : sulfate de zinc, fer (sulfate ferreux), sulfate de manganèse, sulfate de cuivre, iode (calcium iodé), sélénium (sélénite de sodium). Taurine 6,6 mg/kg.

3. Limites et intérêts nutritionnels de ces différents régimes

3.1. Les croquettes sans céréales

Les céréales sont définies comme des plantes cultivées pour leurs grains riches en amidon utilisés en alimentation humaine et animale. Les céréales comprennent le blé, le riz, le maïs, l'orge, l'avoine, le seigle, le sorgho et le millet. Toutes ces plantes appartiennent à la famille des Poacées (Charvet, 2018).

Ces dernières années, les croquettes sans céréales sont de plus en plus plébiscitées par les propriétaires de carnivores domestiques. Elles promettent une composition de meilleure qualité et plus proche de la nature carnivore du chien et du chat, une diminution de risques de contamination par les mycotoxines, une absence de gluten, une meilleure digestibilité et moins de glucides. Ces affirmations sont fréquemment présentées par les industriels préparant des croquettes sans céréales et les propriétaires ayant choisi ce type de régime alimentaire pour leurs compagnons. La diminution du risque d'obésité et de développement de diabète est aussi un argument que l'on peut lire régulièrement concernant les bienfaits des croquettes sans céréales.

3.1.1. Apports nutritionnels : comparaison avec des croquettes conventionnelles

Nous avons choisi de comparer la composition d'un paquet de croquettes sans céréales avec celle d'un paquet de croquettes conventionnelles pour essayer d'en mettre en évidence les différences et les similitudes. Nous avons opté pour deux aliments issus d'une même marque (Hill's) et d'une même gamme (Science Plan) pour comparer des croquettes de qualité identique. La composition des deux aliments est détaillée ci-dessous :



Ingrédients de « Science Plan No Grain adult 1-6 » :

Protéines déshydratées de poulet (23 %) et de dinde, petits pois déshydratés, amidon de pomme de terre, pommes de terre déshydratées, graisses animales, hydrolysate, huile de soja, pulpe de betterave déshydratée, graines de lin, minéraux, vitamines, oligo-éléments, taurine et bêta-carotène. Avec un antioxydant naturel (mélange de tocophérols).

Composition analytique :

Protéines 24,1 %, Matières grasses 14,7 %, Cendres 5,1 %, Cellulose 2,4 %, Glucides 45,7 %, Humidité 8 %, Calcium 0,87 %, Phosphore 0,69 %, Potassium 0,74 %, Sodium 0,28 %, Magnésium 0,07%, Acides gras oméga 3 0,56 %, Acides gras oméga 6 2,85 %, Vitamine A 8472 UI/kg, Vitamine C 90 mg/kg, Vitamine D 658 UI/kg, Vitamine E 650 mg/kg

Énergie : 4020 kcal/kg



Ingrédients de « Science Plan Adult 1-6 » :

Mais, froment, protéines déshydratées de poulet (26 %) et de dinde, graisses animales, hydrolysats, farine de gluten de maïs, huile de soja, minéraux, pulpe de betterave séchée, graines de lin, vitamines, oligo-éléments et bêta-carotène. Avec un antioxydant naturel (mélange de tocophérols).

Composition analytique :

Protéines 21,5 %, Matières grasses 14,9 %, Cendres 5,1 %, Cellulose 1,7 %, Glucides 48,7 %, Humidité 8,5 %, Calcium 0,71 %, Phosphore 0,63 %, Potassium 0,7 %, Sodium 0,27 %, Magnésium 0,07%, Acides gras oméga 3 0,49 %, Acides gras oméga 6 3,52 %, Vitamine A 10413 UI/kg, Vitamine C 90 mg/kg, Vitamine D 787 UI/kg, Vitamine E 600 mg/kg

Énergie : 4070 kcal/kg

Le tableau 41 présente les apports nutritifs de nos deux exemples et les compare aux recommandations nutritionnelles actuelles :

Nutriments	Unité / Mcal d'EM	Croquettes Hill's Adult 1-6	Croquettes Hill's Adult 1-6 No grain	Apports recommandés		
				NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	57,8	57,5	20	45	52,10
Matières grasses	g	40,1	35,1	13,8	13,75	13,75
Glucides	g	130,9	109,1	-	-	-
Calcium	g	1,9	2,1	1,0	1,25	1,45
Phosphore	g	1,7	1,6	0,75	1	1,16
Rapport Ca/P	-	1,1	1,3	-	1-2	1-2
Potassium	g	1,8	1,76	1,0	1,5	1,45
Sodium	g	0,7	0,67	0,2	0,2	0,25
Chlorure	g	-	-	0,3	0,3	0,38
Magnésium	g	0,24	0,17	0,15	0,15	0,20
Vitamine A	UI	2799	2022	1263	1250	1754
Vitamine C	mg	24,2	21,5	-	-	-
Vitamine D	UI	216	157	136	125-750	138-800
Vitamine E	mg	161	155	7,5	12,5	10,40

Tableau 41 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un paquet de croquette classique et d'un paquet de croquette sans céréales et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chien

Les deux aliments apportent une énergie métabolisable (EM) similaire. Les apports protéiques sont équivalents (rapport protido/calorique quasiment identique) et supérieurs aux minima recommandés. Les protéines utilisées sont en grande partie d'origine animale (poulet et dinde) mais aussi végétale (petits pois pour les croquettes sans céréales, gluten de maïs pour les croquettes plus classiques). La matière grasse est présente en quantité plus importante dans l'aliment classique que dans l'aliment sans céréale. De même, la quantité de glucide est plus importante dans l'aliment comprenant des céréales que dans celui n'en

comprenant pas. Cet exemple corrobore l'argument souvent utilisé selon lequel les croquettes sans céréales sont moins riches en glucides. Les apports en minéraux suivent dans les deux cas les recommandations. Un seul oligo-élément, le magnésium, est en dessous des recommandations de la FEDIAF dans les croquettes sans céréales. Cependant l'apport reste suffisant si l'on se réfère aux recommandations de la NRC et de l'AAFCO. Les mêmes types d'ingrédients sont utilisés dans les deux types d'aliment, les céréales sont remplacées dans les croquettes sans céréales par les petits pois et de la pomme de terre.

Globalement, les deux types de croquettes ont des compositions relativement similaires avec cependant un apport plus important en glucides et matière grasses dans les croquettes classiques.

Chez le chat nous avons choisi également deux références de croquettes de la marque Hill's pour comparer leur composition :



Composition de « Science Plan No Grain adult 1-6 » :

Farine de poulet et de dinde, fécule de pommes de terre, pommes de terre déshydratées, petits pois déshydratés, graisse animale, protéine de petits pois, huile végétale, hydrolysate de protéines, minéraux, pulpe de betterave déshydratée, huile de poisson.

Additifs nutritionnels : vitamine A (26 603 UI/kg) [E672], vitamine D3 (1400 UI/kg) [E671], fer (264 mg/kg) [E1], iode (3,9 mg/kg) [E2], cuivre (33,5 mg/kg) [E4], manganèse (11,6 mg/kg) [E5], zinc (224 mg/kg) [E6], sélénium (0,5 mg/kg) [E8], avec des antioxydants naturels.

Composition analytique :

Protéines 30,7 %, Matières grasses 20,2 %, Cendres 5,6 %, Cellulose 1,8 %, Glucides 37,8 %, Humidité 4 %, Calcium 0,9 %, Phosphore 0,7 %, Potassium 0,72 %, Sodium 0,38 %, Magnésium 0,07 %, Acides gras oméga 3 0,74 %, Acides gras oméga 6 3,56 %, Vitamine A 6321 UI/kg, Vitamine C 90 mg/kg, Vitamine D 600 UI/kg, Vitamine E 800 mg/kg

Énergie : 4280 kcal/kg



Composition de « Science Plan adult 1-6 » :

Protéines déshydratées de poulet (39 %) et de dinde, froment, maïs, graisses animales, farine de gluten de maïs, riz de brasserie, hydrolysats, minéraux, pulpe de betterave séchée, huile de poisson, taurine, vitamines, oligo-éléments et bêta-carotène. Avec un antioxydant naturel (mélange de tocophérols).

Composition analytique :

Protéines 32,7 %, Matières grasses 20,7 %, Cendres 5,3 %, Cellulose 1,3 %, Glucides 35,9 %, Humidité 4 %, Calcium 0,76 %, Phosphore 0,73 %, Potassium 0,78 %, Sodium 0,31 %, Magnésium 0,08 %, Taurine 1994 mg/kg, Acides gras oméga 3 0,48 %, Acides gras oméga 6 3,32 %, Vitamine A 6549 UI/kg, Vitamine C 90 mg/kg, Vitamine D 620 UI/kg, Vitamine E 525 mg/kg

Énergie : 4330 kcal/kg

Le tableau 42 présente les apports nutritifs de nos deux exemples et les compare aux recommandations nutritionnelles actuelles.

Nutriments	Unité / Mcal d'EM	Croquettes Hill's adult 1-6	Croquettes Hill's adult no grain	Apports recommandés		
				NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	78,6	74,7	50	65	62,50
Matières grasses	g	49,8	49,1	22,50	22,50	22,50
Glucides	g	86,3	92	-	-	-
Calcium	g	1,83	2,19	0,72	1,5	1,48
Phosphore	g	1,75	1,70	0,64	1,25	1,25
Rapport Ca/P		1,05	1,29	-	-	1 à 2
Potassium	g	1,87	1,75	1,3	1,5	1,5
Sodium	g	0,74	0,92	0,17	0,5	0,19
Chlorure	g	-	-	0,24	0,75	0,29
Magnésium	g	0,19	0,17	0,10	0,1	0,10
Vitamine A	UI	1574	1538	833	833	833
Vitamine C	mg	22	21	-	-	-
Vitamine D	UI	149	146	70	70	62,5
Vitamine E	mg	12	19,5	10	10	9,50

Tableau 42 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un paquet de croquette classique et d'un paquet de croquettes sans céréales et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, le NRC et l'AAFCO chez le chat

L'aliment sans céréales affiche un apport énergétique de 4280 kcal/kg ainsi qu'un rapport protido-calorique de 75 g/Mcal contre 4330 kcal/kg et 79 g/Mcal pour l'aliment classique. L'apport protéique est légèrement supérieur pour les croquettes classiques. La source de protéine est majoritairement dans les deux types de croquettes. Des protéines végétales sont cependant apportées en quantité non négligeable par les petits pois pour les croquettes sans céréales et le gluten de maïs et les hydrolysats de protéine dans les croquettes classiques. L'apport en matières grasses est similaire dans les deux types de

croquettes et l'apport glucidique est légèrement plus important dans les croquettes sans céréales (86 g/Mcal contre 92 g/Mcal). Les apports en minéraux et en oligo-éléments suivent dans les deux cas les recommandations nutritionnelles. Cet exemple démontre qu'une croquette sans céréales n'apporte pas forcément plus de protéines et moins de glucides qu'une croquette en comprenant contrairement à ce que pense un certain nombre de propriétaire.

Comme dans l'exemple des croquettes sans céréales pour chien, les céréales ont été remplacées par des petits pois qui apportent à la fois de l'amidon et des protéines végétales. Le reste de la composition est assez similaire à celle des croquettes classiques.

Ces deux exemples ne mettent pas en évidence de différences majeures entre les croquettes sans céréales et les croquettes traditionnelles de qualité équivalente.

3.1.2. Intérêts potentiels des aliments sans céréales

Nous nous attacherons dans cette partie à déterminer si les arguments avancés par les industriels et les propriétaires prônant une alimentation sans céréales sont justifiés.

3.1.2.1. Une meilleure digestibilité des croquettes sans céréales ?

L'un des arguments avancé par les fabricants de croquettes sans céréales est que le chien et le chat étant des carnivores, ils ne sont pas aptes à digérer des céréales. Cependant, les sources d'amidon utilisées dans les croquettes sans céréales sont-elles plus digestes que les céréales ?

3.1.2.1.1. Chez le chat

Chez le chat, une étude comparant la digestibilité de 6 sources de glucides différentes (pois, manioc, riz brun, blé, sorgho et lentille) a montré que la digestibilité la plus importante est obtenue par le riz brun (98,6 %) suivi par le manioc (98 %), le blé (97,5 %), le pois (96,3%) puis les lentilles (95,2 %) et le sorgho (93,9 %). Ces différences de digestibilité peuvent s'expliquer par une différence de composition chimique de ces ingrédients en particulier par un pourcentage de fibres variable et par une différence de structure (de-Oliveira et al., 2008). Cette étude met en évidence le fait que certaines céréales sont mieux digérées par le chat que les légumineuses ou les autres sources d'amidon présentes dans les croquettes sans céréales.

Dans tous les cas, les sources de glucides, si elles sont correctement préparées, restent hautement digestibles pour le chat. En effet, une cuisson en présence d'eau permet

la gélatinisation des céréales et des autres sources d'amidon, augmentant ainsi de manière très importante la digestibilité (Wolter et al., 1998 ; Svihus et al., 2005). Les croquettes sans céréales n'ont a priori donc pas d'intérêt en ce qui concerne la digestibilité comparativement aux croquettes avec céréales puisque les sources d'amidon utilisées (pomme de terre, pois...) ne sont pas plus digestes que les céréales.

3.1.2.1.2. Chez le chien

Une étude similaire a été réalisée chez le chien en comparant les 6 mêmes sources de glucides (pois, manioc, riz brun, blé, sorgho et lentille). Les résultats montrent une meilleure digestibilité du riz brun (99,3 %) et du blé (99,1 %) comparé aux lentilles (98,8 %) et aux pois (98,7 %) qui ont les digestibilités les plus faibles. Le manioc est le plus digeste (99,4 %) et le sorgho possède la même digestibilité que le blé (99,1 %). Dans tous les cas les six sources d'amidon comparées affichent des digestibilités importantes supérieures à 98 % (Carciofi et al., 2008).

Les croquettes sans céréales ne sont d'après les études pas plus digestes que celles en contenant. Au contraire, certaines céréales, en particulier le riz, montrent une digestibilité supérieure à la majorité des composants classiquement utilisés comme source d'amidon dans les croquettes sans céréales (pois, pomme de terre...).

Dans tous les cas, céréales ou source d'amidon non céréalières sont, si elles sont correctement préparées et en quantité raisonnable, très bien digérées par le chien et le chat.

3.1.2.2. Une quantité moins importante de glucides dans les croquettes sans céréales ?

Comme l'a démontré notre exemple de comparaison entre des croquettes avec et sans céréales, les croquettes sans céréales ne sont pas forcément moins riches en glucides que les croquettes classiques. En effet, un nombre important de matières premières sont des sources importantes de glucides sans pour autant être des céréales (légumineuses, pommes de terre...).

A l'heure actuelle, en France, la réglementation n'exige pas des fabricants d'aliments d'afficher la quantité de glucides ou d'extractif non azoté présent dans leur produit, ce qui peut empêcher le consommateur de comparer cet élément. Cependant, de plus en plus de marques (en particulier les références sans céréales) affichent le taux d'extractif non azoté et en font un argument de vente.

Une étude américaine a comparé le taux de glucides dans 224 références différentes de croquettes pour chat avec ou sans céréales. Les résultats montrent que les croquettes sans céréales affichent en moyenne 25 % d'extractif non azoté en moins que dans les croquettes avec céréales, avec des résultats cependant très variables dans chaque catégorie (Prantil et al., 2018). En moyenne, les produits sans céréales contiennent 64 g de glucide par Mcal contre 86 g par Mcal dans les produits avec céréales. Il semble donc que les glucides soient en moyenne moins présents dans les produits sans céréales que dans les produits en comprenant. Cependant, la dénomination « sans céréales » ne garantit pas nécessairement un taux de glucide plus bas que celui des croquettes contenant des céréales.

De plus, à l'heure actuelle, aucune étude ne démontre une nocivité des glucides chez le chien ou le chat sain, à partir du moment où ses besoins en protéines et lipides sont correctement remplis. Cependant, des apports trop importants en glucides peuvent être mal tolérés en particulier chez le chat moins apte à les digérer que le chien.

3.1.2.3. Des allergies et intolérances potentielles au gluten ?

Le gluten est la principale protéine de stockage de certaines plantes. Il est utilisé pour nourrir les graines durant leur développement et leur germination. Le gluten est composé de deux classes de protéine : les gluténines et les prolamines (riches en glutamines et alanines). Ce sont les prolamines qui peuvent être responsables chez certains individus de différentes maladies digestives. Certaines marques de croquettes font de l'absence de gluten un argument marketing. Cette absence est-elle bénéfique au chien ou au chat ?

Chez l'homme, plusieurs maladies digestives, dues à la présence de gluten dans l'alimentation sont connues :

- l'allergie au blé ;
- la maladie cœliaque qui est une entéropathie auto-immune touchant entre 0,5 et 1 % de la population dans le monde (Gujral, 2012). Elle correspond à une inflammation chronique de l'intestin due à l'exposition au gluten ;
- la sensibilité non cœliaque au gluten, qui se manifeste par des symptômes intestinaux ou extra-digestifs non spécifiques (douleurs abdominales, fatigue, maux de tête...). Elle pourrait toucher selon les études entre 0,6 à 10,6 % de la population. Cette grande variabilité de prévalence selon les études s'explique par l'absence de marqueur biologique de la maladie et donc par une difficulté importante à poser un diagnostic de certitude (Potter et al., 2017 ; Catassi et al., 2017).

Toutes les céréales ne possèdent pas la même toxicité pour les personnes souffrant de la maladie cœliaque ou d'une sensibilité au gluten, en fonction de la richesse de leur prolamine en prolines et glutamines. Ainsi les céréales riches en ces deux derniers éléments présentent une toxicité plus importante pour les intolérants. Ces différences de toxicité sont répertoriées dans le tableau 43.

Céréales	Prolamine	Composition	Toxicité
Blé	α -Gliadine	36 % G, 17-23 % P	+++
Orge	Hordéine	36 % G, 17-23 % P	++
Seigle	Sécaline	36 % G, 17-23 % P	++
Avoine	Avénine	Beaucoup de G, peu de P	+
Maïs	Zéine	Peu de G, Beaucoup d'A, L	-
Millet	-	Peu de G, Beaucoup d'A, L	-
Riz	-	Peu de G, Beaucoup d'A, L	-

A : Alanine ; L : Leucine ; P : Proline ; G : Glutamine

Tableau 43 : Différence de toxicité des différentes céréales pour les personnes souffrant d'intolérance au gluten (d'après Schuppan, 2000)

Qu'en est-il du chat et du chien ? La présence de gluten peut-elle être néfaste pour leur santé et dans quelle proportion ?

3.1.2.3.1. Entéropathie due à une sensibilité au gluten chez les Setters Irlandais

Chez le chien, des cas d'entéropathies dues à une sensibilité au gluten ont été rapportées chez le Setter Irlandais (Pemberton et al., 1997). Les signes cliniques sont similaires à ceux de la maladie cœliaque chez l'homme : diarrhée chronique et intermittente, perte de poids et anorexie. Les individus atteints présentent une augmentation de la densité intra-épithéliale de lymphocytes associée à une atrophie partielle voire totale des villosités intestinales. De plus, l'activité de certaines enzymes de la bordure en brosse intestinale est altérée : la phosphatase alcaline et les aminopeptidases perdent jusqu'à 40 % de leur activité alors qu'au contraire les dissaccharidases ne sont pas affectées (Batt et al., 1984).

Ces différents symptômes régressent en cas de passage à une alimentation sans gluten : arrêt de la diarrhée, prise de poids, ré-augmentation de la taille des villosités intestinales, reprise de l'activité des enzymes affectées, retour à une perméabilité intestinale classique (Hall et al., 1992). Ce retour à la normale peut cependant prendre plusieurs mois.

L'hypothèse la plus probable à ce jour est une origine génétique de cette maladie due à la transmission d'un gène autosome récessif. La prévalence estimée est d'après ce modèle, de 0,8 % chez le Setter Irlandais (Garden et al., 2000).

3.1.2.3.2. Influence du gluten chez les Soft Coated Wheaten Terrier souffrant d'entéropathies exsudatives ou de néphropathies avec pertes protéiques

Les Soft Coated Wheaten Terriers ou Terrier Irlandais à poils doux sont prédisposés à l'apparition de deux maladies pouvant ou non être associées : une entéropathie exsudative se manifestant par une diarrhée chronique, des vomissements et de la perte de poids et une glomérulopathie à l'origine d'une fuite protéique, d'un syndrome néphrotique et d'une maladie rénale chronique. Entre 5 à 15 % des Terrier Irlandais sont touchés par ces maladies (Vaden et al., 2013).

Une étude a mis en évidence une influence négative de la présence de gluten sur les Soft Coated Wheaten Terrier souffrant d'une ou de ces deux maladies. L'ingestion de gluten de manière prolongée, chez les chiens atteints, entraîne une diminution significative des globulines sériques. Le mécanisme exacte de cette hypoglulinémie n'est à l'heure actuelle pas connu mais une fuite intestinale des globulines est l'hypothèse la plus probable (Vaden et al., 2000). Le gluten est donc à éviter pour les chiens souffrant de cette maladie.

3.1.2.3.3. Effet positif d'un régime sans gluten chez des Borders Terriers atteint d'un Canine Epileptoid Cramping Syndrome (CECS) ou diskinésie paroxystique

Le CECS est un trouble du mouvement paroxystique qui touche entre 5 et 15 % des Borders Terriers (Leitchy et al., 2005). Il entraîne des tremblements, des crampes musculaires, une démarche ébrieuse, des borborygmes, du léchage durant des épisodes de quelques secondes à plusieurs heures. Des troubles digestifs peuvent aussi apparaître : vomissement et diarrhée. Une étude réalisée sur 6 Borders Terriers atteints de ce syndrome a démontré que la mise en place d'un régime sans gluten permettait de diminuer voire de stopper les crises chez 5 chiens sur 6. De plus, des titrages sérologiques ont mis en évidence une augmentation du nombre d'anticorps antitransglutaminase-2 (anticorps retrouvés chez les individus atteints d'entéropathie due à une sensibilité au gluten) chez ces 6 Borders Terriers avant l'initiation du régime sans gluten. Après la mise en place du régime, il a été constaté une diminution des anticorps en plus de la disparition ou de la diminution des signes cliniques. Cette étude corrobore l'hypothèse selon laquelle ce syndrome pourrait être dû à une intolérance au gluten (Lowrie et al., 2015). D'autres études rapportent des cas de Border Terrier présentant une possible sensibilité au gluten entraînant des signes neurologiques mais aussi de l'atopie et des troubles gastro-intestinaux et répondant favorablement à la mise en place d'un régime sans gluten (Lowrie et al., 2016).

3.1.2.3.4. Allergie et intolérance alimentaires causées par le blé chez le chien

Le blé est la troisième cause d'allergie alimentaire chez le chien. Il est responsable de 15 % des allergies alimentaires chez le chien derrière le bœuf (36 %) et les produits laitiers (28 %) (Verlinden et al., 2006).

Rappelons que les allergies alimentaires sont responsables de seulement 1 % des maladies dermatologiques chez le chien et représentent 10 % de l'ensemble des dermatoses allergiques derrière la dermatose allergique aux piqûres de puce et l'atopie (Verlinden et al., 2006).

3.1.2.3.5. Allergie et intolérance alimentaires causées par le gluten/ les céréales chez le chat

Chez le chat, de rares cas d'allergie alimentaire ont mis en cause la présence de gluten. Ainsi une étude réalisée sur 128 chats présentant de la diarrhée ou des vomissements chroniques, du prurit ou ces trois symptômes simultanément, a permis de mettre en évidence que 17 % d'entre eux (soit 22 chats) présentaient une allergie alimentaire à l'origine de ces troubles. Parmi ces 17 %, seul un chat (soit 4 % des sujets présentant une allergie alimentaire) présentait une allergie au gluten et plus particulièrement au blé, à l'orge et à la farine de gluten de blé mais pas au gluten de maïs (Guilford et al., 1998).

Une autre étude réalisée sur 70 chats présentant des troubles digestifs chroniques (vomissements et/ou diarrhée chronique) a mis en évidence que 29 % d'entre eux présentaient une allergie alimentaire dont 3 au gluten de maïs et 3 autres au gluten de blé. D'après cette étude, le gluten de maïs, le gluten de blé et le bœuf sont les trois allergènes les plus présents chez les chats présentant des allergies alimentaires (Guilford et al., 2001).

Les allergies alimentaires chez le chat restent rares : seul 1 à 6 % des chats présentant des troubles dermatologiques et 10 à 15 % des chats présentant des troubles digestifs chroniques ont une allergie alimentaire (Bryan et al., 2010 ; Verlinden et al., 2006)

Certaines pathologies du chien et du chat peuvent donc être dues à la présence de gluten dans la ration. Cependant, ces maladies restent très rares et ne concernent que peu d'individus. À l'heure actuelle, aucune étude ne fait mention de l'intérêt d'un régime sans gluten chez le chien et le chat sain.

Il convient aussi de différencier un régime sans gluten et un régime sans céréales. En effet, une ration contenant des céréales peut très bien ne pas contenir de gluten et donc

présenter une toxicité nulle pour les individus sensibles à ce type de protéine. En effet, le riz, le maïs, le sorgho ou encore le millet sont des céréales pauvres ou sans gluten.

3.1.2.4. Céréales, obésité et diabète :

L'une des affirmations qui revient souvent concernant les croquettes comportant des céréales est celle selon laquelle les céréales favoriseraient le développement du surpoids et de l'obésité voire du diabète chez nos animaux domestiques.

3.1.2.4.1. Glucides et céréales favorisent-ils l'obésité ?

Le surpoids et l'obésité touchent entre 22 et 44 % des carnivores domestiques selon les études et les lieux où elles ont été réalisées (Europe, Amérique du Nord, Australie) (Sandoe et al., 2014). En France, une étude réalisée en 2006 sur 616 chiens a mis en évidence que 38,8 % des chiens étaient en surpoids et que 5 % d'entre eux souffraient d'obésité (Colliard et al., 2006). Le surpoids se met en place lorsque le nombre de calories ingérées est plus important que le nombre de calories dépensées par l'animal. Dans ces conditions, les croquettes sans céréales permettent-elles une prévention de l'obésité et du surpoids ?

Là encore il s'agit de ne pas confondre céréales et glucides. En effet, l'un des arguments régulièrement avancés par les adeptes des croquettes sans céréales est que celles-ci étant moins riches en glucides, elles préviennent l'obésité et le diabète chez le chien et le chat. D'une part, il a été démontré précédemment que les croquettes sans céréales ne contenaient pas nécessairement moins de glucides, même si une tendance à une quantité de glucides plus faible a été constatée. D'autre part, une quantité plus importante de glucides entraîne-t-elle réellement un risque plus important de développement du diabète et de l'obésité ?

Les glucides peuvent être stockés soit, comme expliqué précédemment, sous forme de glycogène, dans les muscles principalement, soit sous forme de triglycérides dans les tissus adipeux. Il a été démontré chez le rat que la synthèse de triglycérides lors de distribution d'un régime riche en glucides est 3 fois plus importante qu'à partir d'un régime riche en graisse et pauvre en glucides. Néanmoins, le dépôt de graisse est deux fois plus important avec un régime riche en matières grasses qu'avec un riche en glucides (Brunengraber et al., 2003) ce qui s'explique par une différence d'apport énergétique importante entre ces deux macronutriments : les lipides apportent environ 9 kcal/g contre 4 kcal/g pour les glucides.

3.1.2.4.1.1. *Chez le chat*

Chez le chat, deux études ont mis en évidence une augmentation de la masse grasseuse et un gain de poids lorsque qu'on propose, à volonté, un régime faible en glucide et riche en matière grasse comparé à un régime riche en glucide et faible en matière grasse.

La première étude (Backus, Cave, Keisler 2007) a comparé l'influence de 4 régimes différents distribués à volonté. Le taux de protéine de ces quatre régimes est fixé à 33 % de l'énergie métabolisable (EM). Le régime le plus riche en matière grasse contient 2,8 % d'EM apportée par les glucides et 63,5 % d'EM apportée par les matières grasses. Dans le régime le plus riche en glucides, ceux-ci apportent 57 % de l'EM contre 9,1 % pour les matières grasses. La ration la plus riche en matière grasse a entraîné logiquement une prise de poids car elle est énergétiquement plus dense que les autres (23,8 kJ/g pour le régime le plus gras contre 16,7 kJ/g pour le régime le plus riche en glucides). De plus, les régimes les plus riches en matières grasses ont entraîné une augmentation plus importante de la masse grasseuse après stérilisation que les autres régimes.

La deuxième étude (Gooding et al., 2015) compare l'effet de deux régimes : un régime riche en graisse (30 % de matière grasse et 25,8 % d'extractif non azoté) et un régime riche en glucides (11 % de matière grasse et 47,1 % d'extractif non azoté). Ils sont distribués dans les deux cas à volonté. Les résultats sont similaires à ceux de la première étude et montrent un gain de poids et une augmentation de la masse grasseuse chez les chats ayant reçu le régime riche en graisse par rapport à ceux ayant reçu le régime riche en glucides. Cette prise de poids est imputable, là encore, à une plus grande ingestion de calorie avec le régime riche en matières grasses que le régime riche en glucide.

Les résultats de ces deux études sont facilement explicables par le fait que les matières grasses sont deux fois plus caloriques que les glucides et entraînent de plus une augmentation de l'appétence et donc de l'ingestion. Les régimes les plus riches en matière grasse entraînent donc logiquement une prise de poids.

Une autre étude, qui corrobore les deux précédentes, a été réalisée sur 24 chats adultes, la moitié alimentés avec un régime riche en glucides (378 g/kg d'aliment) et l'autre moitié avec un régime plus faible en glucides (138 g/kg d'aliment). Lorsque la même quantité de calories est distribuée, il a été constaté une perte de poids similaire avec les deux régimes. Ces résultats montrent que la quantité de calories ingérées, et non la quantité de glucides dans l'alimentation, est le facteur déterminant de la prise ou de la perte de poids. Il faut cependant rappeler que dans cette étude les deux aliments proposés sont aussi différents sur le plan de la quantité de protéines, de graisses et de fibres. Dans tous les cas le type de régime ne semble pas avoir d'influence comparé à la quantité de calories ingérées pour l'alimentation sèche (Michel et al., 2005).

3.1.2.4.1.2. Chez le chien

Chez le chien, une étude similaire a mis en évidence que lorsqu'il était proposé *ad libitum* une alimentation riche en matières grasses ou en glucides (466 g de glucides et 105 g de matières grasses par kilos contre 322 g de glucides et 213 g de matières grasses par kilos de matière sèche), les chiens ingéraient de plus grandes quantités de l'aliment riche en graisses que de celui riche en glucides, et donc une quantité nettement supérieure de calories. De plus, les chiens nourris avec le régime riche en glucides ont présenté des taux supérieurs de peptide Y et de cholécystokinine (deux hormones qui ont des effets anorexigènes) comparés à ceux nourris avec des régimes riches en matières grasses (Schauf et al., 2016). Cependant, aucune différence de satiété chez les chiens ayant reçu les deux régimes n'a été constatée 4 heures après le repas malgré la différence de taux de ces deux hormones. En effet, 4 heures après ingestion des deux régimes, il a été proposé aux chiens des deux groupes 600 g de la même nourriture pendant 20 minutes et la quantité ingérée a été mesurée pour évaluer l'appétit des chiens des 2 groupes. Aucune différence entre les deux groupes n'a pu être mise en évidence.

Comme chez le chat, à l'heure actuelle aucune étude n'a démontré une augmentation du risque de surpoids chez le chien liée à une alimentation plus riche en glucides lorsque les apports protéiques et énergétiques sont respectés.

3.1.2.4.2. Céréales, glucides et diabète chez le chat

Le diabète sucré qui touche le chat est principalement un diabète de type 2 dû à une résistance à l'insuline et un dysfonctionnement des cellules β du pancréas. Il est différent du diabète de type 1 dû à une destruction des cellules β et donc une insulino-pénie. Chez le chat, le diabète de type 2 touche entre 0,20 et 1,25 % des chats (Verbrugghe et al., 2017). Les facteurs principaux de prédispositions à ce type de diabète sont le surpoids, la stérilisation, le manque d'activité, la vie en intérieur strict et l'appartenance à certaines races de chat. Le rôle de l'alimentation est encore sujet à débat.

En effet, certains auteurs affirment que la consommation d'aliments industriels riches en glucides pourrait expliquer l'augmentation des cas de diabète chez le chat. Cependant, les changements alimentaires de ces 30 dernières années se sont aussi accompagnés d'une augmentation du nombre de chats stérilisés vivant exclusivement en intérieur et d'une diminution de l'activité physique, qui ont clairement été identifiées comme des facteurs prédisposant au diabète (Rand et al., 2004 ; Öhlund et al., 2017). La part du rôle du régime alimentaire dans la prédisposition au diabète chez le chat reste compliquée à évaluer.

Il est démontré que la source de glucide a un impact sur la sécrétion d'insuline et l'hyperglycémie post-prandiale. Ainsi, par exemple, le riz blanc qui possède un index glycémique plus élevée que le sorgho ou le maïs entraîne une augmentation plus importante d'insuline qui aurait pour effet au long cours un épuisement des cellules β du pancréas et pourrait favoriser l'apparition de diabète de type 2 (Rand et al., 2004 ; Appleton et al., 2004). Ainsi, une étude réalisée sur 24 chats a comparé l'effet sur la glycémie de régimes possédant des profils de macronutriments différents : un régime riche en glucides (50 % de l'énergie) contre des régimes riches en graisse ou en protéine dont moins de 25 % de l'énergie est apporté par les glucides. Le régime riche en glucides entraîne une glycémie post-prandiale plus élevée et un pic de glycémie nettement plus important (23 % de plus que les autres régimes) (Farrow et al., 2013). Cependant, le pic d'insuline post-prandial même s'il a tendance à être plus élevé chez les chats ayant reçu le régime riche en glucide que chez ceux ayant reçu celui riche en protéine n'est pas significativement différent. De plus, le régime riche en lipides entraîne des pics d'insuline comparables à ceux obtenus avec le régime riche en glucides. Le temps de retour à une concentration basale en insuline est plus important pour le régime riche en glucide comparé à ceux riches en matières grasses et en protéines. Malgré ses données, aucune étude à l'heure actuelle n'a permis de démontrer qu'un régime riche en glucide favorise le diabète chez le chat. L'une des hypothèses avancées par les auteurs pour expliquer cette absence de preuve est que les chats ont tendance à ingérer plus de calories lorsqu'ils sont nourris avec des aliments riches en protéines ou en matières grasses, ce qui favorise le surpoids. Or le surpoids est un facteur primordial prédisposant au diabète de type 2 et l'origine de l'excès d'énergie (glucide ou lipide) entraînant ce surpoids ne semble pas jouer un rôle important.

Cependant, le rôle bénéfique des régimes faibles en glucides dans le traitement du diabète chez le chat a été clairement démontré. Ainsi, une étude réalisée sur 8 chats diabétiques a permis de baisser de 50 % les dose d'insulines chez 7 des chats en proposant un régime à seulement 7 % d'énergie apportée par les glucides (Frank et al., 2001). De même, une autre étude réalisée sur 63 chats diabétiques nourris avec un régime faible en glucides cytoplasmiques a démontré que les chats sous alimentation spécifique sont plus facilement stabilisés et peuvent montrer une rémission au bout de 16 semaines d'alimentation (Bennett et al., 2006). À l'heure actuelle, les recommandations pour le traitement du diabète sont d'alimenter les chats atteints avec une alimentation faible en sucres et amidon mais avec un quantité suffisante de fibres (Sparkes et al., 2015). En effet, les fibres ralentissent l'absorption du glucose et limite donc les pics de glycémie et d'insulinémie.

L'influence de la quantité de glucides présents dans l'alimentation dans la prédisposition au diabète est encore sujet à discussion à l'heure actuelle, en particulier chez le chat. Dans tous les cas, la composition en macronutriments du régime alimentaire reste un facteur très secondaire derrière l'obésité, l'activité physique et les prédispositions

génétiques concernant la mise en place du diabète chez celui-ci. Néanmoins, les études réalisées sur la prise en charge diététique du diabète chez le chat ont clairement montré l'intérêt de l'utilisation d'une alimentation pauvre en glucides, qui permet une stabilisation de la glycémie et favorise les rémissions.

3.1.2.4.3. Céréales, glucides et diabète chez le chien

Le diabète touche entre 0,1 et 1,2 % de la population canine. Chez le chien, il est le plus souvent dû à une hypoinsulinémie permanente causée par une destruction des cellules β du pancréas et ressemble au diabète de type 1 touchant l'homme. Les causes possibles de destruction de ces cellules sont multiples : hypoplasie congénitale des cellules β , destruction à médiation immune, pancréatite, épuisement des cellules β dû à une résistance à l'insuline prolongée (Ettinger et al., 2010). De par la différence d'origine de ce diabète chez le chien par rapport au chat, aucune étude n'a mis en évidence de rôle prédisposant des glucides dans le développement du diabète canin. Cependant, tout comme chez le chat, une alimentation faible en sucre et amidon et riches en fibres est recommandée chez le chien atteint de diabète pour permettre un meilleur contrôle de la glycémie (Elliott et al., 2012 ; Ettinger et al., 2010).

3.1.2.5. Une diminution des risques de contamination par les mycotoxines ?

La contamination des croquettes par les mycotoxines peut être pour certains propriétaires un sujet d'inquiétude, les croquettes sans céréales sont-elles moins à risque que les croquettes classiques ?

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires fongiques ayant des effets toxiques sur l'homme et l'animal. Elles peuvent être de structures très variées. Les champignons les plus couramment à l'origine de la sécrétion de mycotoxines sont les *Fusarium*, *Penicillium* et *Aspergillus*. D'autres, moins présents, peuvent aussi contaminer les denrées alimentaires : *Byssochlamys*, *Claviceps* et *Alternaria*. Les mycotoxines peuvent entraîner des signes cliniques très variés : retard de croissance, anorexie, atteintes hépatiques, rénales, troubles de la reproduction, œdème pulmonaire, atteinte du système immunitaire. Environ 25 % des denrées alimentaires destinées à l'homme ou à l'animal sont contaminées (INRA, 2013). La contamination peut avoir lieu avant la récolte, au moment de celle-ci ou lors du transport et du stockage des matières premières et des aliments (Leung et al., 2006). Les mycotoxines peuvent être grossièrement divisées en deux groupes : celles issues de champignons possédant une affinité plus particulière pour les céréales (*Fusarium*) et celles capables de se développer sur n'importe quel aliment lors du stockage (*Penicillium*, *Aspergillus*).

3.1.2.5.1. Les principales mycotoxines secrétées par *Aspergillus* et *Penicillium*

Les aflatoxines sont des mycotoxines secrétées par un *Aspergillus*. Elles peuvent contaminer les céréales, les graines de protéagineux ou d'oléagineux et les fourrages. Chez les carnivores domestiques, une consommation à faible dose sur de longues périodes peut entraîner l'apparition de tumeurs hépatiques et accroître la vulnérabilité aux infections. Une consommation massive entraîne, quant à elle, une hépatite nécrosante pathognomonique. La DL50 (dose létale 50) est estimée entre 0,5 et 1,5 mg/kg chez le chien et entre 0,3 et 0,6 mg/kg chez le chat (AFSSA, 2009).

Des études épidémiologiques montrent que les croquettes pour chats et chiens peuvent être contaminées par ce type de mycotoxines : une étude réalisée sur le marché britannique sur 35 paquets de croquettes pour chats et 35 paquets de croquettes pour chiens a identifié un seul aliment contaminé à un seuil très faible (2,1 µg/kg) (Scudamore et al., 1997). Au Mexique, des résultats plus inquiétants ont été obtenus : l'analyse de 19 échantillons de croquettes pour chien et de 16 échantillons de croquettes pour chats a révélé une contamination de 79 % des croquettes pour chiens et 100% des croquettes pour les chats (Sharma et al., 2001). Au Brésil, des résultats plus rassurants ont été obtenus : sur 45 échantillons de croquettes pour chiens et 25 pour chats, seuls 3 aliments pour chien et 1 aliment pour chat contenaient des aflatoxines, à des niveaux qui cependant restaient tout à fait acceptables (entre 15 et 25 µg/kg) (Maia et al., 2002).

Les aflatoxines sont peu sensibles aux traitements thermiques et seule la torréfaction permet une réduction de 50 à 80 % de ces mycotoxines.

Entre 1975 et 2005, il a été rapporté 11 épisodes d'aflatoxicoses aux États-Unis. En Europe, la directive 2003/100/CE du 31 octobre 2003 fixe à 10 µg/kg la teneur maximum en aflatoxine B1 des aliments pour les carnivores domestiques, ce qui offre une sécurité importante de ces aliments. Le risque existe bien, mais reste faible. De plus les aflatoxines, même si elles affectent les céréales, peuvent aussi atteindre les arachides, les haricots ou encore certains fruits, comme le raisin.

Les ochratoxines A (OTA) sont des métabolites de moisissures de type *Aspergillus* ou *Penicillium*. Elles affectent les céréales mais peuvent aussi contaminer les abats d'animaux qui en ont consommées. Elles sont connues pour leur néphrotoxicité.

Des études ayant analysées 35 aliments secs pour chiens et 35 aliments secs pour chats sur le marché britannique ont identifié 2 aliments pour chiens contenant 1,1 et 1,3 µg/kg d'OTA et 2 aliments pour chats contenant 1,2 et 2,3 µg/kg. Une étude a mesuré la teneur en OTA de 101 prélèvements de tissu rénal de chats présentant ou non des signes

cliniques rénaux : 39 échantillons contenaient de l'OTA, cependant aucun lien entre pathologie rénale et OTA n'a pu être établi (Puehringer et al., 2007).

Deux études ont été réalisées pour mesurer l'effet d'un apport continu en OTA sur de jeunes chiots. Une dose quotidienne de 0,2 à 0,4 mg/kg quotidienne entraîne des vomissements, de l'anorexie, de l'hyperthermie... Des doses de 0,1 mg/kg sont par contre bien tolérées par les animaux. En présence d'une autre mycotoxine (la citrinine) les effets de l'OTA sont potentialisés et on observe des effets délétères à partir de 0,1 mg/kg d'OTA (Kitchen et al., 1977). Les OTA sont, cependant, très sensibles au traitement thermique et détruites lors de la cuisson. La limite tolérable est fixée à 0,1 mg/kg pour les carnivores domestiques (AFSSA, 2009).

Les principales mycotoxines sécrétées par *Aspergillus* ou *Penicillium* peuvent toucher les céréales mais aussi de nombreuses autres denrées alimentaires, les croquettes sans céréales peuvent donc en être le vecteur.

3.1.2.5.2. Les principales mycotoxines sécrétées par *Fusarium*

Les trichothécènes sont des mycotoxines produites par des moisissures du genre *Fusarium* qui contaminent majoritairement les céréales et parfois certains fruits (banane...). La contamination de l'aliment par certains trichothécènes comme le deoxynivalénol entraîne une baisse de la consommation pour des niveaux de 3 mg/kg chez le chien et de 6 mg chez le chat. Des vomissements sont constatés dès 8 à 10 mg/kg (AFSSA, 2009). Les trichothécènes sont en partie détruites lors de la cuisson (destruction de 16 à 69 % des toxines lors d'une cuisson à 120°C).

La zéaralène (ZEA) est une mycotoxine transmise par des champignons du genre *Fusarium*. Elle se développe dans les céréales, principalement au champ, et peuvent aussi toucher les bananes. Chez les carnivores domestiques, peu d'études démontrent les effets de la ZEA : une étude réalisée en Pologne a démontré que sur 57 échantillons de croquettes pour carnivores, 48 échantillons - soit 86 % - étaient contaminés (valeurs comprises entre 0,5 et 299,5 µg/kg) (Zwierzchowski et al., 2004). La ZEA provoque des mycotoxicoses œstrogéniques pouvant entraîner des troubles de la reproduction, même si aucune étude ne rapporte de cas autres que des études in vitro chez le chien et le chat (AFSSA, 2009). Elle est stable lors d'augmentation de la température et seule une partie des zéaralènes sont détruites lors de la cuisson.

Les fumonisines sont des mycotoxines sécrétées par des moisissures de type *Fusarium* et qui se manifestent par une hépatotoxicité et une nécrose cérébrale. Des études ont mis en évidence la présence en quantité limitée de fumonisines dans certaines

croquettes pour chiens et pour chats mais aucun trouble n'a pour le moment été rapporté dans ces deux espèces (Scudamore et al., 1997).

Les mycotoxines produites par *Fusarium*, de part leur affinité plus importante pour les céréales, sont donc bien un danger potentiel des croquettes contenant des céréales. Elles sont la plupart du temps peu dangereuses surtout lorsqu'elles sont consommées à faible dose. Des contrôles réguliers sont réalisés par les fabricants de croquettes et permettent d'en exclure les céréales contaminées. Peu de cas d'intoxications par les mycotoxines chez les carnivores domestiques sont rapportés à l'heure actuelle. Les croquettes sans céréales ne sont pas du tout exemptes de contamination par les mycotoxines sécrétées par *Aspergillus* ou *Penicillium* qui peuvent se développer sur de nombreux substrats.

Par ailleurs, les substituts utilisés dans les croquettes sans céréales (oléagineux, protéagineux, pomme de terre...) peuvent eux aussi contenir des éléments toxiques ou anti-nutritionnels : inhibiteurs de la trypsine, acide phytique et tanins pour les légumineuses ou solanine pour la pomme de terre. Certains de ces composés constituent des facteurs anti-nutritionnels altérant la bonne absorption des nutriments et peuvent être toxiques à hautes doses.

3.1.3. Limites nutritionnelles des croquettes sans céréales

À partir du moment où leur formulation est correcte et correspond aux recommandations nutritionnelles de la FEDIAF ou de la NRC, les croquettes sans céréales ne présentent pas de limites nutritionnelles spécifiques. L'un des seuls aspects qui peut poser problème est la digestibilité de certains composants utilisés pour remplacer les céréales (pois, pommes de terre...) qui comme nous l'avons vu précédemment peut être moins importante que celle des céréales et peut chez certains individus sensibles entraîner des troubles digestifs.

Récemment, en juillet 2018, la Food & Drug Administration a alerté les propriétaires et les vétérinaires concernant des cas de cardiomyopathies dilatées apparues chez des chiens (30 cas) ne présentant aucune prédisposition génétique et quelques chats (7 cas). Ces chiens et chats avaient pour point commun d'être nourris avec des croquettes contenant majoritairement des pois, des lentilles ou des pommes de terre comme ingrédients principaux. Pour le moment, aucun lien n'a cependant pu être établi avec certitude.

3.1.4. Récapitulatifs des intérêts nutritionnels supposés des croquettes sans céréales

Arguments avancés par les propriétaires nourrissant leurs animaux aux croquettes sans céréales	Vrai	Faux
Meilleure digestibilité	✗	✓
Quantité plus faible de glucide	✓ <i>Vrai en moyenne</i>	✗ <i>Vrai en moyenne</i>
Toxicité du gluten	✗	✓ <i>Sauf en cas d'intolérance (rare)</i>
Diminution du risque de surpoids	✗	✓
Diminution du risque de diabète	✗	✓
Diminution du risque de contamination par les mycotoxines	✓ <i>Pour Fusarium</i>	✗

Tableau 44 : Récapitulatif des intérêts nutritionnels des croquettes sans céréales

Nutritionnellement, les croquettes sans céréales ne possèdent pas de réel avantage. L'un des seuls avantages est la diminution de contamination potentielle par certaines mycotoxines telles que celles produites par *Fusarium* et qui font partie des mycotoxines les moins toxiques. Ces contaminations restent, à l'heure actuelle, anecdotiques. Par ailleurs, les quantités de glucides sont en moyenne plus faibles dans les croquettes sans céréales. Néanmoins, à l'heure actuelle, aucune toxicité des glucides n'a été mise en évidence chez le chien et le chat sain même si de trop grande quantité de glucides peut provoquer chez le chat des difficultés de digestion.

Les croquettes sans céréales sont très fréquemment vendues plus chères que les croquettes classiques équivalentes. En effet, si on reprend l'exemple de nos deux types de croquettes Hill's Science Plan pour chat, on observe sur un site de vente en ligne que pour un sac de 2 kg d'aliment le prix de l'aliment contenant des céréales (8,49 €/kg) est inférieur à celui n'en contenant pas (10,99 €/kg). De même, chez le chien un sac de 12 kg des croquettes classiques revient à 3,58 €/kg contre 4,58 €/kg pour les croquettes sans céréales (Zooplus, 2018). Cette différence de prix peut s'expliquer par une différence de coût des matières premières. En effet, les céréales sont en moyennes bien moins coûteuses que les pommes de terre ou le pois par exemple. Ainsi le blé est vendu 202 €/t et le maïs 149 €/t contre 294 €/t pour la pomme de terre et 225 €/t pour le pois en 2018 (Terre-net Media, 2018). Les prix plus élevés ne sont donc pas forcément dus à une meilleure qualité nutritionnelle mais plutôt à un prix plus élevé de certaines matières premières qui ne sont pas nutritionnellement supérieures.

3.1.5. Conclusion

Il existe une confusion entre céréales, glucides, amidon et gluten chez la plupart des consommateurs. En effet, les croquettes ont besoin d'amidon pour leur cohésion ; de ce fait, les céréales sont remplacées dans les croquettes sans céréales par d'autres sources d'amidon (pomme de terre, pois...). Les propriétaires souhaitant respecter la nature carnivore de leurs animaux et se tournant vers les croquettes sans céréales n'ont pas toujours conscience que de tels éléments remplacent les céréales. De plus, à l'heure actuelle, aucune étude n'a permis de mettre en évidence un impact négatif de la présence de céréales dans l'alimentation des carnivores domestiques, à partir du moment où les différents macronutriments sont apportés en quantité suffisante. Les seules exceptions sont certaines pathologies digestives qui concernent des céréales spécifiques, et non toutes les céréales, et ne touchent qu'une infime partie de la population canine ou féline. Il n'y a cependant aucune contre-indication à nourrir les chiens et les chats avec des croquettes sans céréales. Nous nous devons cependant d'insister sur le fait que la mention « sans céréales » est à l'heure actuelle, un argument marketing, et l'intérêt de ces croquettes n'est pas prouvé scientifiquement. L'absence de céréales ne conditionne absolument pas la qualité d'une croquette.

3.2. L'alimentation crue (régime BARF et assimilé)

De nombreuses vertus sont attribuées au régime BARF ou aux autres types d'alimentation crue comparés aux aliments industriels ou aux rations ménagères : supériorité nutritionnelle, meilleure digestibilité et qualité des selles, augmentation de l'appétence, lutte contre le tartre, beauté du pelage, absence d'additifs ou de colorants...

3.2.1. Apports nutritionnels : évaluation des caractéristiques d'un mélange industriel BARF et comparaison avec un aliment industriel classique

Prenons tout d'abord un exemple d'un mélange industriel BARF et comparons sa composition avec celui d'un aliment humide industriel.

Ainsi chez le chat, nous prenons l'exemple de Chunks au poulet de la marque Hill's pour chat adulte et le comparons au régime BARF tout prêt Nova Felis au poulet et à la dinde. L'aliment BARF est recommandé par le vendeur « pour chat de tout âge ».



Ingrédients de « Science Plan Chunks Optimal Care au Poulet » :

Poulet (31 %), porc, amidon de tapioca, amidon de maïs, farine de froment, concentré de protéines de pois, dextrose, minéraux, cellulose, œuf entier en poudre, protéines animales déshydratées, DL-méthionine, vitamines et oligo-éléments, L-tryptophane, huile de tournesol, taurine, bêta-carotène. Coloré avec du caramel naturel.

Composition analytique :

Protéines : 8 %, cellulose brute : 0,4 %, matières grasses : 4,3 %, glucides : 6,2 %, humidité : 80 %, calcium : 0,14 %, phosphore : 0,13 %

Énergie : 860 kcal/kg



« Nova Felis Poulet et Dinde » :

Ingrédients :

Poulet avec os (57 %), viande de cuisse de dinde sans os (22 %), cœur de dinde (10 %), foie de dinde (5 %), courgettes crues mixées (5 %), levure de bière, krill déshydraté.

Environ 8% d'os.

Composition analytique :

Protéines : 17,8 %, matière grasses : 10,4 %, cendres : 2,0 %, humidité : 69 %, calcium : 0,41 %, phosphore : 0,38 %

Énergie : 1444 kcal/kg

Le tableau suivant présente les apports nutritifs de nos deux exemples et les compare aux recommandations nutritionnelles actuelles :

Nutriments	Unité/ Mcal d'EM	Chunks Optimal Care de Hill's	Nova Felis Poulet / Dinde	Apports recommandés chez le chat adulte		
				NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	93	123	50	65	62,50
Matières grasses	g	50	72	22,50	22,50	22,50
Glucides	g	72,1	0	-	-	-
Calcium	g	1,62	2,84	0,72	1,5	1,48
Phosphore	g	1,51	2,63	0,64	1,25	1,25
Rapport Ca/P	-	1,07	1,07	-	-	1 à 2
Potassium	g	1,98	-	1,3	1,5	1,5
Sodium	g	0,81	-	0,17	0,5	0,19
Chlorure	g	-	-	0,24	0,75	0,29
Magnésium	g	0,11	-	0,10	0,1	0,10
Vitamine A	UI	31390	-	833	833	833
Vitamine D	Mg	223	-	-	-	62,5
Vitamine E	UI	133	-	70	70	9,50

Tableau 45 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un aliment humide et d'un aliment BARF et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chat

La teneur énergétique de l'aliment humide classique est beaucoup moins élevée que celle de l'aliment BARF. Cela peut s'expliquer facilement par une teneur en eau plus importante de l'aliment classique ainsi que par des différences de la composition en macronutriments : l'aliment BARF est beaucoup plus riche en matières grasses que l'aliment industriel. La teneur en protéines est nettement plus importante dans le régime BARF : l'aliment classique comprend un ratio protido-calorique de 93 g/Mcal contre 123 g/Mcal pour l'aliment BARF. Les protéines du régime BARF sont exclusivement d'origine animale contrairement à l'aliment humide classique dans lequel des protéines végétales sont incorporées. L'aliment BARF est comme attendu plus riche en protéines et ne contient pas d'extractif non azoté. Pour les apports en minéraux, l'aliment traditionnel contient 1,62 g/Mcal de calcium et 1,51 g/Mcal de phosphore contre 2,84 g/Mcal de calcium et 2,63 g/Mcal de phosphore. Le rapport phospho-calcique est dans les deux cas compris entre 1 et 2 ce qui suit les recommandations de l'AAFCO et de la FEDIAF. Les quantités de calcium et de phosphore suivent les apports recommandés dans les deux cas, même si les valeurs sont nettement plus élevées dans le régime BARF, grâce à un apport beaucoup plus important en viande et en os.

Une autre différence notable est la composition des deux aliments. Aucun additif ou colorant n'est présent dans l'aliment BARF. Des quantités beaucoup plus importantes de viande sont utilisées comparées à l'aliment humide et aucun ajout de vitamines ou d'oligo-éléments n'a lieu pour l'aliment BARF. Avec les seules informations présentes sur l'aliment

BARF, il est impossible de savoir si les apports vitaminiques ou en oligo-éléments principaux sont en accord avec les recommandations nutritionnelles actuelles.

De même pour le chien, nous effectuons une comparaison entre un aliment humide au poulet pour chien adulte et un aliment tout prêt BARF de la marque Nova Canis au poulet recommandé pour les chiens de tout âge.



« Pâtée Hill's Adult 1-6 ans Chicken »

Ingrédients :

Poulet (11 %), orge perlé, maïs, bœuf, foie de porc, petit lait en poudre, hydrolysé, graisses animales, huile végétale, carbonate de calcium, chlorure de potassium, sel iodé, vitamines et oligo-éléments.

Composition analytique :

Protéines : 6 %, cellulose brute : 0,3 %, matières grasses : 3,8 %, glucides : 12 %, humidité : 74,5 %, calcium : 0,15 %, phosphore : 0,13 %

Énergie : 1010 kcal/kg



« Nova Canis Poulet »

Ingrédients :

Poulet avec os (71%), fruits et légumes : carottes, courgettes, épinards, pommes (15%), foie de dinde (5 %), cœur de poulet et dinde (8 %), levure de bière, huile de saumon, algues marines (ascophyllum), alfalfa, cynorrhodon.

Environ 13% d'os.

Composition analytique :

Protéines : 13,7 %, matières grasses : 14,2 %, cendres : 3 %, humidité : 68,4 %, calcium : 0,65 %, phosphore : 0,47 %

Énergie : 1627 kcal /kg

Le tableau suivant présente les apports nutritionnels de nos deux exemples et les compare aux recommandations nutritionnelles actuelles :

Nutriments	Unité/ Mcal d'EM	Pâtée Hill's Adult 1-6 Chicken	Nova Canis Poulet	Apports recommandés chez le chien adulte		
				NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	59	84,2	20	45	52,10
Matières grasses	g	39	87,3	13,8	13,75	13,75
Glucides	g	121	0	-	-	-
Calcium	g	1,55	3,99	1,0	1,25	1,45
Phosphore	g	1,34	2,88	0,75	1	1,16 à 4
Rapport Ca/P	-	1,16	1,38	-	1-2	1 à 2
Potassium	g	1,62	-	1,0	1,5	1,45
Sodium	g	0,54	-	0,2	0,2	0,25
Chlorure	g	-	-	0,3	0,3	0,38
Magnésium	g	0,23	-	0,15	0,15	0,20
Vitamine A	UI	6890	-	1263	1250	1754
Vitamine D	UI	290	-	136	125 à 750	138 à 800
Vitamine E	mg	40	-	7,5	12,5	10,40

Tableau 46 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'un aliment humide et d'un aliment BARF et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chien

La teneur énergétique de l'aliment classique est de 1010 kcal/kg, contre 1 830 kcal/kg pour l'aliment BARF. Comme chez le chat, l'aliment BARF est nettement plus riche en matières grasses ce qui explique cette différence d'apport énergétique. Ainsi, les lipides sont responsables de l'apport de plus de 2/3 de l'énergie de l'aliment BARF alors qu'ils n'apportent qu'1/3 de l'énergie dans la pâtée classique. Dans l'aliment Hill's, ce sont les glucides qui apportent un peu plus de la moitié de l'énergie. L'aliment classique comprend un ratio protido-calorique de 59 g/Mcal contre 84,2 g/Mcal pour l'aliment BARF. L'aliment BARF est, comme chez le chat, plus riche en protéines et ne contient pas d'extractif non azoté qui est présent en quantité non négligeable dans la pâtée classique. Pour les apports en minéraux, l'aliment traditionnel contient 1,55 g/Mcal de calcium et 1,34 g/Mcal de phosphore contre 3,99 g/Mcal de calcium et 2,88 g/Mcal de phosphore pour l'aliment BARF. Le rapport phospho-calcique est dans les deux cas compris entre 1 et 2, ce qui suit les recommandations de l'AAFCO et de la FEDIAF. La quantité de calcium dans l'aliment BARF est très proche de la limite maximum recommandée par la FEDIAF pour les chiens en début de croissance (4 g/Mcal maximum). Là encore, aucune information concernant les apports vitaminiques ou en oligo-éléments n'est donnée par le fabricant de l'aliment BARF.

Les deux aliments industriels classiques et BARF pour chien et pour chat respectent les apports recommandés pour les chiens et les chats adultes en bonne santé. La différence majeure retrouvée est la quantité de protéines nettement plus importante dans les régimes BARF, ainsi que les quantités de calcium et de phosphore, elles aussi, beaucoup plus élevées. Ces valeurs plus élevées, si elles ne dépassent pas les maxima recommandés par la FEDIAF,

l'AAFCO ou le NRC (6 g/Mcal pour le calcium et 4 g/Mcal pour le phosphore), ne présentent a priori aucun danger chez l'animal en bonne santé.

Il conviendra cependant de rester vigilant chez les animaux âgés, chez qui le développement de maladie rénale chronique, en particulier chez le chat, est assez commun : 10 % des chiens et 30 % des chats de plus de 15 ans sont atteints d'insuffisance rénale chronique (Bartges, 2012). Or, les facteurs nutritionnels clés lors de la prise en charge d'une insuffisance rénale chronique sont entre autres d'éviter les excès de protéines pour contrôler au mieux le taux d'urée et d'apporter le phosphore en quantité raisonnable pour éviter les hyperphosphatémies. Ce type de régime doit donc être évité chez les animaux présentant ce genre de maladie et utilisé avec précaution chez l'animal âgé.

De même, chez les chiens de grande taille ou de race géante, des excès d'apport en calcium peuvent entraîner des troubles du développement osseux : ostéochondrose, dysplasie des hanches et des coudes. Ainsi, chez ces races à risque, un pourcentage de 0,8 % à 1,2 % de calcium sur matière sèche est recommandé or, on retrouve 2 % de calcium sur matière sèche dans l'aliment BARF industriel (Thatcher et al., 2010). Une étude réalisée sur des chiots Dogues Allemands, a démontré qu'un apport excessif de calcium (3,3 % de matière sèche) avec un rapport calcium sur phosphore de 1,1/1 a entraîné des troubles ostéo-articulaires bien plus sévère que les chiots nourris avec des régimes recevant les quantités de calcium et de phosphore recommandées (Schoenmakers et al., 2000).

3.2.2. Intérêts nutritionnels potentiels des régimes crus

Nous nous attacherons dans cette partie à déterminer si les arguments avancés par les industriels et les propriétaires prônant une alimentation à base d'aliments crus sont justifiés.

3.2.2.1. Une meilleure digestibilité et une amélioration des apports protéiques des produits crus comparés aux produits cuits ?

L'un des principaux arguments en faveur de l'alimentation BARF plutôt qu'en faveur de la ration ménagère est que la cuisson de la viande et des légumes le plus souvent réalisée lors de la préparation de ration ménagère entraînerait une dégradation des protéines et une moins bonne digestibilité. En effet, lors de la cuisson et de la préparation des aliments industriels de type pâtée ou croquettes, si la quantité d'acides aminés n'est pas modifiée par la cuisson, la digestibilité de la plupart des acides aminés diminue avec l'augmentation de la cuisson (Hendriks et al., 1999). Cette moins bonne digestibilité peut s'expliquer par différents phénomènes : protéolyse, réticulation des protéines, réactions oxydatives et formation de complexes de Maillard.

La réaction de Maillard est celle qui entraîne la plus grande perte de digestibilité des acides aminés. C'est une réaction qui a lieu entre les résidus d'acides aminés et la fonction alcool des sucres simples lors de la cuisson. Les complexes formés par cette réaction peuvent être absorbés partiellement par les animaux mais ne peuvent pas être utilisés. La réaction de Maillard commence à des températures très basses (4°C) mais à des vitesses excessivement lentes, la vitesse est doublée lorsque la température augmente de 10 °C. Elle peut être considérée comme rapide à partir de 100 °C. Ainsi certains acides aminés, tels que la lysine, qui est le plus souvent le premier acide aminé limitant dans les régimes industriels, peuvent être en partie inutilisables après cuisson : une étude estime qu'entre 5 et 56 % de la lysine des régimes commerciaux pour chiens et chats peut être dénaturée par les procédés de fabrication (Williams et al., 2006 ; van Rooijen et al., 2013). De plus, la réaction de Maillard, qui peut avoir lieu entre les sucres simples et l'asparagine, entraîne la formation d'acrylamides qui est classé par l'OMS comme présentant un risque pour la santé humaine. En effet, même si la majorité des études ne trouvent pas de corrélation entre acrylamide et cancer, quelques études rapportent un risque accru de cancer rénal, ovarien ou de l'endomètre chez l'Homme en présence de cette molécule (Virk-Baker et al., 2014). On peut donc se demander quel impact ce type de molécule peut avoir sur la santé animale.

Une étude a cherché à évaluer la différence de digestibilité de trois régimes sur neuf chats : un régime à base de bœuf cru, un à base de bœuf cuit et des croquettes au bœuf. Les résultats mettent en évidence une digestibilité plus importante des régimes ménagers, que la viande soit crue ou cuite comparés aux croquettes. En effet, la digestibilité est plus importante que celles des croquettes concernant les protéines (entre 4,6 et 14,3 % plus digestes), les matières grasses et l'énergie (8 % plus digeste) (Kerr et al., 2012). Aucune différence significative n'a pu être notée entre la digestibilité de la viande crue et celle de la viande cuite. Cependant les différences entre les aliments sont trop importantes pour savoir quels facteurs expliquent la moins bonne digestibilité des croquettes comparées à la viande crue (cuisson, humidité...).

Chez le chat sauvage africain, une étude a démontré que la viande crue de bœuf était mieux digérée que des croquettes riches en protéines de poulet (Vester et al., 2010), mais il n'y a pas eu de comparaison avec de la viande cuite.

Les différentes études mettent bien en évidence une meilleure digestibilité des rations crues comparées aux croquettes industrielles. Cependant, aucune étude ne montre de supériorité des rations BARF comparées aux rations ménagères cuites en ce qui concerne la digestibilité. Les facteurs de cette digestibilité supérieure de la viande crue sont difficilement identifiables à l'heure actuelle (différence du taux d'humidité, différence de cuisson, différence de présentation...). Néanmoins, la cuisson pourrait entraîner la formation de composés (acrylamide) potentiellement dangereux pour la santé. La toxicité de ces

composés reste sujette à débat en santé humaine et aucune étude n'a été réalisée chez nos carnivores domestiques à ce sujet.

3.2.2.2. Une diversification du microbiote fécal ?

Une étude s'est intéressée aux modifications du microbiote fécal sur huit beagles adultes suite au passage d'une alimentation industrielle (croquettes) à une alimentation à base de viande crue. Les résultats ont montré une augmentation de l'index de Shannon (index mesurant la biodiversité) au niveau fécal comparativement aux croquettes. De plus, le score fécal a diminué après le passage au régime à base de viande crue (diminution de la quantité de selles, selles plus moulées...). En parallèle, une augmentation de l'acide lactique dans les fèces a été observée, ainsi qu'une diminution significative de la quantité de *Lactobacillus*, *Paralactobacillus* et *Prevotella*. *Lactobacillus* et *Paralactobacillus* sont pourtant des forts producteurs d'acide lactique. L'augmentation des lactates s'explique par une augmentation de la proportion de *Lactococcus*, lui aussi producteur d'acide lactique, dans les fèces des chiens nourris avec de la viande crue. De plus, une augmentation importante de la quantité de *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Fusobacteria*, *Clostridiaceae*¹, *Coriobacteriaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Streptococcaceae*, *Enterococcaceae* a été mise en évidence suite au passage au régime à base de viande crue (Sandri et al., 2016). Il est difficile d'estimer si ces variations dans le microbiote sont un signe de bonne santé intestinale ou non. Cependant, l'amélioration du score fécal, ainsi que la diminution du volume fécal, semblent être en faveur d'une amélioration de la santé digestive (Sandri et al., 2016).

Une autre étude s'intéressant à la diversification de la flore a comparé le microbiote de deux groupes de chiens : l'un nourri avec des croquettes et l'autre avec une alimentation BARF. Le régime BARF entraîne une augmentation des *Streptococcus*, des *E.coli* et de *Clostridium perfringens* associée à une diminution de *Faecalibacterium*. Ces changements peuvent être à l'origine de prolifération de pathogènes, de dysbiose intestinale et entraîner des troubles digestifs. De plus la richesse en protéine des rations BARF stimule la prolifération de bactéries protéolytiques telles que les clostridies pouvant elles aussi provoquer de la diarrhée. Cependant aucun trouble digestif n'a été rapporté au cours de l'étude (Schmidt et al., 2018).

Rappelons que diverses études chez l'homme, la souris et le chien ont mis en évidence une relation entre une faible diversité au niveau du microbiote, les troubles alimentaires et l'obésité (Park et al., 2015 ; Alcock et al., 2014). Cependant, pour le moment ces conclusions sont encore très discutées et aucun consensus n'a permis d'établir quel était l'impact précis du microbiote sur les divers troubles alimentaires que ce soit chez l'homme ou dans d'autres espèces. De plus amples recherches doivent donc être menées pour déterminer le bénéfice des régimes crus sur le microbiote intestinal et fécal et pour évaluer les risques et les bénéfices que peuvent inclure ce type d'alimentation.

3.2.2.3. Une diminution du risque de calculs d'oxalate de calcium ?

Une étude réalisée sur 141 chiens et 50 chats a cherché à déterminer les facteurs alimentaires et raciaux influençant l'excrétion urinaire d'oxalate de calcium chez le chien et le chat. Cette étude a mis en évidence une excrétion urinaire d'oxalate et de calcium plus importante avec un régime à base de croquettes comparée à un régime à base d'aliments crus (Dijcker et al., 2012). Une des explications possibles est que les protéines animales de mauvaise qualité (aponévrose...) parfois présentes dans les aliments industriels sont riches en collagène eux mêmes riches en hydroxyproline. Or il a été démontré que l'hydroxyproline favorise la formation des cristaux d'oxalates (Dijcker, 2013). Les régimes BARF sont en général réalisés avec des protéines de bonne qualité ce qui peut expliquer la diminution du risque de calcul d'oxalate chez les individus nourris avec de la viande crue. Cependant, aucune comparaison avec un régime humide ou une ration ménagère de composition similaire n'a été réalisée, pour voir si l'excrétion plus faible n'est pas due uniquement à une humidité plus importante dans la ration et non pas à la viande crue. En effet, il semble logique qu'une alimentation humide entraîne une diminution du risque de formation de calcul urinaire par dilution des urines. Il n'est donc pas possible de déterminer l'influence précise de l'alimentation crue dans la prévention de l'apparition de calculs d'oxalate de calcium (protéine de meilleure qualité, humidité plus importante...). Des études complémentaires doivent être menées pour déterminer les effets positifs potentiels d'un régime BARF sur ce type de pathologie.

3.2.2.4. Une amélioration de l'hygiène bucco dentaire ?

Une étude réalisée sur 8 Beagles a démontré l'efficacité de la mastication d'os crus dans le retrait du tartre. En effet, au début de l'étude, le tartre couvrait près de 40 % de la surface dentaire. Après 12 jours de mastication quotidienne d'un fémur de bœuf, la plaque dentaire avait régressé de 70,6 % à 87,8 %, selon si la partie corticale ou spongieuse de l'os avait été distribuée. Durant cette étude, aucune complication n'a été constatée : absence de fracture dentaire, d'obstruction ou de bout d'os bloqué entre les dents (Marx et al., 2016). Bien entendu, l'effet bénéfique de ce type d'alimentation sur l'hygiène bucco-dentaire n'est plus présent lorsque l'aliment est broyé, ce qui est le cas de certains aliments BARF « tout prêt ».

3.2.2.5. Un meilleur apport en créatine et créatinine ?

La créatine est un composant naturel des tissus animaux qui est stockée en grande majorité dans les muscles squelettiques. La forme phosphorylée de la créatine joue un rôle majeur dans le transport de l'énergie. La dégradation de la créatine suite à la cuisson de la viande est décrite par plusieurs études (Purchas et al., 2004 ; Larsen et al., 2007). Une étude a comparé la teneur en créatine et créatinine de différents régimes : pâtée, croquettes, régimes commerciaux BARF, proies (rat, souris, oiseaux...), viande crue. Les résultats ont montré une nette différence de teneur en créatine : les régimes à bases de viande crue en contiennent une quantité supérieure à ceux ayant subi un processus de transformation (Dobenecker et al., 2015). Cette différence peut être attribuée au processus de transformation et notamment à la cuisson (en particulier la réaction de Maillard, qui altère la structure chimique de certains acides aminés et de la créatinine en présence de sucre).

Des études tendent à montrer qu'un taux plus haut de créatine alimentaire pourrait augmenter la quantité de créatine dans le muscle (Lowe et al., 1998). Cependant à l'heure actuelle, aucune publication ne démontre clairement l'effet bénéfique d'un apport plus conséquent en créatine.

3.2.3. Limites nutritionnelles potentielles de l'alimentation BARF

3.2.3.1. Déséquilibres nutritionnels

Une étude a cherché à vérifier l'équilibre nutritionnel en vitamines et minéraux de ration à base de viandes crues et d'os. Les vérifications ont été effectuées sur 95 rations. Parmi ces rations, 26 % ne suivaient pas tout à fait les recommandations classiques liées au BARF ou au modèle Whole Prey et les propriétaires rajoutaient régulièrement des féculents cuits à la ration de leurs animaux. Au total, 10 % des rations présentaient des apports en calcium inférieurs aux apports recommandés de 25 %. Concernant ces rations, le rapport Ca/P était en dessous de ce qui est recommandé (< 0,6). La moitié des rations ne remplissaient pas les apports en iode recommandés par le NRC. De même, plus de la moitié des rations n'apportaient pas assez de zinc ou de cuivre. Un quart des rations ne remplissaient que 70 % ou moins des besoins en vitamine A. Au total, 60 % des rations présentent un déséquilibre lié à un ou plusieurs minéraux. Les 40 % restant présentaient un déséquilibre très léger ou alors étaient équilibrés (Dillitzer et al., 2011).

Les propriétaires n'ont rapporté aucun signe clinique en lien avec ces déséquilibres, mis à part quelques problèmes de peau. Ceci peut s'expliquer par le fait que les propriétaires ne soient pas toujours en mesure de remarquer les signes de carence et que les carences chez l'adulte mettent souvent plusieurs mois à se mettre en place. Cependant, chez le chiot

en croissance, les signes cliniques sont beaucoup plus rapides à se mettre en place et peuvent provoquer des dégâts irréversibles.

Une autre étude, à une échelle beaucoup plus petite, a vérifié l'adéquation nutritionnelle de trois régimes BARF pour chien réalisés par leurs propriétaires et de deux régimes complets commercialisés avec les recommandations de l'AAFCO (Freeman et al., 2001). Sur ces 5 régimes, 4 étaient déséquilibrés en ce qui concerne les apports phosphocalciques et présentaient un excès de vitamine D. Deux des régimes possédaient des concentrations trop faibles en potassium, manganèse et zinc. D'autres déséquilibres ont été constatés concernant la concentration en fer, en magnésium et en vitamine E.

Ces données montrent clairement un grand risque de déséquilibre de ces régimes BARF. Cependant, ces déséquilibres ne sont pas spécifiques des rations de type BARF. En effet, plusieurs études ont démontré que les régimes ménagers, qu'ils soient réalisés à partir d'aliments crus ou cuits, sont pour un peu moins de la moitié déséquilibrés - exception faite de ceux conçus par des vétérinaires - (Streiff et al., 2002 ; Lauten et al., 2005 ; Weeth, 2013). Les déséquilibres ne sont donc pas spécifiques des régimes à bases d'aliments crus, mais concernent toutes les rations réalisées par les propriétaires, seuls, sans conseils d'un professionnel et donc sans complémentation alimentaire.

3.2.3.1.1. Problème d'apport en calcium et phosphore : hyperparathyroïdisme secondaire

Comme décrit précédemment, l'un des déséquilibres majeurs rapportés dans les rations de type BARF est un déséquilibre des apports phospho-calciques. Ce type de déséquilibre peut entraîner un hyperparathyroïdisme secondaire d'origine nutritionnel. En effet, en cas d'excès de phosphate, le plus souvent associé à une déficience en calcium, c'est-à-dire lors de la distribution d'un régime « tout viande » sans assez d'os ou de complément minéral, on observe une augmentation de la sécrétion de parathormone et une activation de la vitamine D stimulant la résorption osseuse et provoquant divers troubles osseux (ostéopénie, ostéofibrose...), en particulier chez les individus en croissance (Lecoindre, 2014 ; Taylor et al., 2009).

Ce type de déséquilibre peut là aussi être observé dans n'importe quel type de régime ménager. Aucune étude de la prévalence de ce type de maladie en fonction des régimes alimentaires n'a été réalisée à l'heure actuelle. Il serait intéressant de savoir si le développement des régimes BARF contribue ou non au développement des régimes contenant uniquement de la viande et donc au problème d'hyperparathyroïdisme.

3.2.3.1.2. Risque d'hypervitaminose A

Des cas d'hypervitaminose A ont été rapportés dans la littérature, comme le cas d'un chat de 9 ans nourri à base de foie de porc cru ayant développé une paralysie du membre thoracique gauche. La concentration sérique en vitamine A de ce chat était trois fois au dessus de la limite supérieure des valeurs usuelles. L'excès de vitamine A entraîne la formation d'excroissance osseuse qui soude la colonne vertébrale, c'est la spondylose hypertrophiante. Une hypervitaminose A peut aussi être à l'origine de prurit intense et avoir des effets tératogènes (uniquement si l'excès est supérieur de 10 fois aux besoins). Après retour à un régime équilibré, les lésions cessent de progresser, cependant les lésions déjà existantes ne sont pas réversibles (Polizopoulou et al., 2005). D'autres cas d'hypervitaminose A dus à une ingestion en quantité trop importante de foie cru ont été rapportés : chez un chat de 10 ans nourri majoritairement avec du foie crue ou encore chez un jeune chat nourri avec du foie de mouton (Goldman, 1992 ; Seawright et al., 1974).

3.2.3.2. *Un risque potentiel d'une alimentation hyper protéinée ?*

Les régimes de type BARF peuvent être hyper protéinés, et même si aucune étude n'a prouvé à ce jour un effet négatif de ce type de régime chez l'animal sain, ceci reste un sujet d'interrogation. Chez l'animal sain, des études ont prouvé qu'à moyen terme une alimentation riche en protéines n'avait pas d'effet négatif sur la fonction rénale.

En effet, une étude préliminaire réalisée sur 34 chiens adultes nourris avec trois régimes : un régime riche en protéines (38 % de l'énergie), un régime intermédiaire (23 % de l'énergie) et un régime faible en protéines (15 % de l'énergie), s'est intéressé à l'impact du taux protéique sur différents paramètres. Les paramètres rénaux (créatinine, urée, phosphorémie, RPCU, protéine totale et albumine) ont été mesurés pendant 5 mois et aucune différence significative entre ces trois régimes n'a été mise en évidence (Leriche et al., 2017). Cependant, le régime le plus riche en protéines de cette étude reste moins riche en protéines qu'un grand nombre de régimes BARF.

Il a cependant été prouvé qu'un régime hyperprotéiné entraîne une augmentation de la quantité de protéines dans le colon et le développement d'une flore colique protéolytique (Clostridies) pouvant être à l'origine de diarrhée hémorragique et d'entérotoxémie (Xu et al., 2017).

Il convient, de plus, de rappeler que certains régimes BARF réalisés à base de viandes grasses peuvent, au contraire, être déficitaires en protéines.

3.2.3.3. Des contaminations par des pathogènes et des risques zoonotiques ?

Le principal argument en défaveur des régimes à base de viandes crues est la contamination par différents pathogènes de la viande et en particulier le risque de transmission à l'homme.

Les inquiétudes concernant les zoonoses et les risques liés à la manipulation de viandes crues par les propriétaires de chiens et de chats ayant choisi ce type de régime ont entraîné la réalisation de multiples études sur le sujet.

3.2.3.3.1. Contaminations bactériennes et excrétion

3.2.3.3.1.1. Contamination par les salmonelles

Les salmonelles transmissibles entre l'animal et l'homme sont des bactéries du genre *Salmonella* appartenant à la famille des entérobactéries. Chez l'homme, elles provoquent de la fièvre, de la diarrhée, des vomissements et des douleurs abdominales. Les symptômes régressent le plus souvent au bout de 3 à 5 jours en moyenne, sauf chez les individus immunodéprimés où les conséquences peuvent être beaucoup plus importantes. Les salmonelles sont la première cause de toxi-infections alimentaires collectives. Les salmonelles peuvent aussi provoquer des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes. Les souches de salmonelles provoquant ces types de syndrome ne sont cependant transmissibles qu'entre hommes (Institut Pasteur, 2016).

De nombreuses études ont montré que les salmonelles sont fréquemment retrouvées dans les aliments crus BARF industriels ou ménagers et sont excrétées par les animaux en ayant reçu sans qu'ils présentent la majeure partie du temps de symptômes. En effet, les salmonelloses cliniques sont rares chez le chien et le chat. Les signes cliniques incluent de la fièvre, de l'anorexie, de la diarrhée et des douleurs abdominales, ainsi que des avortements. Les animaux contaminés peuvent excréter des salmonelles pendant 6 semaines de manière intermittente.

Une étude réalisée en 2002 a cherché à évaluer la prévalence de la contamination par les salmonelles dans les régimes BARF réalisés à la maison : les résultats ont montré que 80 % des échantillons étaient positifs pour la salmonellose. Environ 30 % des chiens ont excrété des salmonelles dans les fèces (Joffe et al., 2002).

Une étude américaine de 2005 réalisée sur 25 régimes commerciaux crus pour chiens et pour chats en a détecté dans 20 % de ces régimes (Weese et al., 2005). Une étude réalisée une année plus tard sur 20 régimes crus, 2 aliments secs et 2 pâtées a démontré la présence de salmonelles dans 6 % des échantillons, uniquement dans les produits crus (Strohmeier et al., 2006).

En 2007, une étude a été réalisée sur des chiens nourris au cru utilisés pour les visites dans les hopitaux ou les maisons de retraite et donc au contact d'un public dont les défenses immunitaires sont pour la plupart diminuées. Cette étude a démontré que 61 % des chiens nourris avec de la nourriture crue excrétaient des salmonelles au moins une fois dans l'année, comparés aux 8 % de chiens dans le groupe témoin. Les chiens recevant des oreilles de cochon en friandises présentent les mêmes risques d'excrétion que ceux nourris au cru (Lefebvre et al., 2008).

Une autre étude réalisée en 2007 a cherché à savoir quelle proportion de chien excrétrait des salmonelles lorsqu'ils avaient consommé de la nourriture crue contaminée. Parmi les chiens nourris avec de la nourriture crue contaminée, 44 % ont commencé à excréter des salmonelles environ 2 semaines après la consommation d'un seul repas contaminé. Les chiens n'ont présenté aucun symptôme de la maladie. Les Salmonelles excrétées par les chiens ayant reçu de la viande contaminée ont dans cette étude les mêmes sensibilités aux antibiotiques que celles présentes dans la nourriture contaminée ingérée (Finley et al., 2007).

En 2018, une étude a été réalisée aux Pays-Bas, où de nombreux propriétaires (environ 50 % des foyers) nourrissent leurs animaux avec des régimes à bases de viande crue. Les salmonelles étaient présentes dans 20 % des échantillons (van Bree et al., 2018).

Selon les localisations, les études montrent des taux de contamination très différents des régimes à base de viande crue. En effet, une étude réalisée en Finlande en 2017 sur 88 échantillons de rations BARF industrielles a démontré la présence de seulement 2 % de salmonelles dans les régimes à bases de viandes crues - la prévalence de salmonellose en Finlande étant très faible - (Fredriksson-Ahomaa et al., 2017).

Un rapport de cas a mis en évidence que la consommation de viande contaminée pouvait entraîner des salmonelloses cliniques : ainsi deux chats nourris avec de la viande crue contaminée ont développé une salmonellose septicémique (Stiver et al., 2003). Les salmonelloses cliniques, même si elles sont rares chez le chien et le chat, sont tout à fait possibles. Les salmonelloses cliniques chez l'homme même si elles sont la majeure partie du temps dues à une transmission par de la nourriture contaminée peuvent être transmis par un chien ou un chat porteur. Les enfants sont d'autant plus vulnérables qu'ils se laissent

facilement lécher par les chiens et n'appliquent pas toujours les règles d'hygiène nécessaires à la prévention de la transmission de ce type de zoonose (Leonard, 2014).

3.2.3.3.1.2. Contamination par les Escherichia coli

Les *Escherichia coli* sont des bactéries intestinales Gram – qui composent la majeure partie de la flore intestinale des mammifères. Seules certaines souches peuvent être pathogènes. Parmi elles, certaines peuvent avoir des conséquences dramatiques sur la santé humaine, telles que les *E.coli* entérohémorragiques (EHEC), qui peuvent entraîner des diarrhées hémorragiques ou des atteintes rénales sévères (syndromes hémolytique et urémique) chez l'homme et chez l'animal (Anses, 2017).

Ainsi, une étude réalisée de 2005 évaluant 25 régimes commerciaux crus pour chats et pour chiens aux Etats-Unis a mis en évidence que 64 % des régimes crus testés comportaient des *Escherichia coli* (Weese et al., 2005).

En 2006, une étude américaine a comparé la présence de différents pathogènes dans 20 régimes commerciaux crus, 2 types de croquettes et 2 types de pâtée. Des *Escherichia coli* ont été retrouvés dans 53 % des échantillons à la fois dans les régimes crus mais aussi dans les régimes industriels (Strohmeier et al., 2006).

En 2007, une étude américaine sur les chiens d'assistance nourrit au BARF a démontré que le risque d'excrétion d'ESC *E.coli* (Extended Spectrum Cephalosporinase *E.coli*) c'est-à-dire des *E.coli* qui présentent des résistances aux céphalosporines était présent (Lefebvre et al., 2008).

En 2018, dans une étude réalisée sur 35 régimes BARF commerciaux aux Pays-Bas, *E.coli* a été isolée dans 86 % des échantillons. Le sérovar O157:H7, qui est une EHEC, a été isolé dans 23 % des cas (van Bree et al., 2018).

3.2.3.3.1.3. Contamination par les Listeria

La listériose est une maladie provoquée par la bactérie *Listeria monocytogenes*. Elle provoque des septicémies ou des méningo-encéphalites. Chez la femme enceinte, elle peut entraîner des avortements, des accouchements prématurés ou encore des infections néonatales. Elle est mortelle pour l'homme dans 20 à 30 % des cas, même si sa prévalence est faible : 5 à 6 cas par million d'habitant en France (Institut Pasteur, 2015). Chez le chien et le chat, la listériose entraîne rarement des signes cliniques. Dans ces rares cas, la listériose se traduit par de la fièvre, une dysorexie et parfois de la diarrhée ou des troubles respiratoires.

En 2018, aux Pays-Bas, sur 35 régimes BARF congelés industriels, *Listeria monocytogenese* a été retrouvée dans 54 % des échantillons.

3.2.3.3.1.4. Contamination par les campylobacters

Les campylobacters sont des bactéries Gram – dont les réservoirs principaux sont les oiseaux (volailles...) mais d'autres réservoirs sont décrits : porcs, bovins, petits ruminants ou animaux de compagnie. Chez l'homme, ces bactéries provoquent la majeure partie du temps une entérite aigue, même si dans de rares cas elles peuvent provoquer des arthrites, de l'inflammation hépatique ou rénale ou encore un syndrome Guillain-Barré (paralysie neuromusculaire aigue et flasque). Les campylobacters sont peu pathogènes pour nos animaux domestiques (Anses, 2011).

Dans une étude réalisée en Finlande en 2017 sur 88 rations BARF, *Campylobacter* a été retrouvé dans 15 % des régimes (Fredriksson-Ahomaa et al., 2017).

3.2.3.3.1.5. Contamination par *Clostridium perfringens*

Clostridium perfringens est une bactérie Gram + anaérobie stricte produisant de nombreuses toxines, telles que l'entérotoxine, qui entraîne une nécrose des entérocytes, ainsi qu'une fuite d'eau et d'électrolytes et donc de la diarrhée. Chez le chien et le chat, elle provoque les mêmes symptômes et est à l'origine de gastro-entérites (Anses, 2010).

Une étude réalisée en 2005 a évalué 25 régimes commerciaux crus pour chats et pour chiens aux Etats-Unis et *Clostridium perfringens* a été identifié dans 20 % des échantillons (Weese et al., 2005).

3.2.3.3.1.6. Autres contaminations bactériennes

D'autres bactéries ont été identifiées de manière plus anecdotique dans des régimes à base de viande crue : *Staphylococcus aureus*, *Ysernia enterocolitica*...

Une étude réalisée en 2005 a évalué 25 régimes commerciaux crus pour chats et pour chiens aux Etats-Unis : *Staphylococcus aureus* a été identifié dans 4 % des échantillons (Weese et al., 2005) et *Ysernia enterocolitica* a été retrouvé dans 11 % des 88 échantillons testés en Finlande (Fredriksson-Ahomaa et al., 2017).

Toutes ces bactéries sont détruites par la cuisson, mais non par la congélation. De plus, de nombreuses études ont démontré que la présence d'animaux de compagnie porteurs augmente nettement les risques de contamination de leurs propriétaires par des zoonoses bactériennes (Leonard, 2014 ; Hoelzer et al., 2011 ; Sato et al., 2000). Les personnes immunodéprimés, les enfants et les personnes âgées étant les plus susceptibles d'être contaminés. La transmission des différents pathogènes présents dans les régimes crus est donc tout à fait possible. Le plus souvent, les propriétaires ayant choisi ce mode d'alimentation pour leurs animaux ne sont pas au courant ou refusent de reconnaître les risques liés à la contamination de la viande crue, ce qui entraîne souvent une négligence des stratégies de prévention adéquates pour prévenir les zoonoses (Lenz et al., 2009).

3.2.3.3.2. Résistances aux antibiotiques des agents pathogènes excrétés

Outre la transmission de zoonoses, un autre point est la transmission de bactéries potentiellement résistante aux antibiotiques. En effet, comme évoqué précédemment, une étude a démontré que des chiens nourris à base de viande crue présentaient un risque accru d'excrétion d'*Escherichia coli* résistantes aux céphalosporines comparés aux chiens nourris avec des aliments plus classiques (Lefebvre et al., 2008). De même, une autre étude réalisée aux Pays-Bas sur 25 chiens sains a montré que la distribution d'alimentation crue était corrélée positivement à l'excrétion d'E.coli résistantes aux β -lactamases (Baede et al., 2015).

Une étude réalisée au Royaume-Uni sur 73 chiens sains a démontré que l'alimentation crue augmentait significativement la présence de bactéries E.coli résistantes à l'amoxicilline-acide clavulanique et aux céphalosporines de troisième génération (Schmidt et al., 2015). Cette augmentation peut s'expliquer par la présence de bactéries résistantes dans certaines viandes crues.

Ainsi, les régimes BARF, entraînent à la fois un risque plus élevé de transmission de zoonose, mais aussi de transmission de bactéries résistantes aux antibiotiques. En effet, il se déroule au niveau du tube digestif des échanges entre flore pathogène et flore commensale et en particulier des échanges de fragments d'ADN dont certains peuvent conférer des résistances aux antibiotiques. De plus, certaines viandes crues peuvent être porteuses de bactéries déjà résistantes aux antibiotiques. Les animaux contaminés peuvent ensuite excréter ces bactéries résistantes et contaminer leurs propriétaires.

Ces deux aspects sont aujourd'hui préoccupants pour la santé publique et diverses associations telles que la Delta Society Pet Partners, qui aux États-Unis entraîne et encadre des chiens utilisés pour des visites dans les hôpitaux et les maisons de retraite, ont écarté de leur programme les chiens nourris avec de l'alimentation crue.

3.2.3.3.3. Risque de transmission de la maladie d'Aujeszky ou pseudo rage

La maladie d'Aujeszky ou pseudo-rage est une maladie aiguë et la plupart du temps fatale due au virus de la pseudo-rage qui appartient à la famille des herpès. Les réservoirs principaux de ce virus sont les porcs et les suidés sauvages. La consommation de viande de porc crue infectée peut entraîner l'infection du chien et du chat. Chez le chien, l'incubation de la maladie est de 2 à 9 jours et la plupart des chiens meurent deux jours après l'apparition des symptômes. La maladie se manifeste par du prurit facial, de la dyspnée, des vomissements, de la diarrhée hémorragique, de l'œdème, de l'ataxie, ainsi que des spasmes musculaires (Zhang et al., 2015). En Europe, à l'heure actuelle, la France, le Royaume-Uni, l'Allemagne, les Pays-Bas, le Luxembourg et la Belgique sont reconnus indemnes concernant la maladie d'Aujeszky. Cependant, la présence de foyers infectieux dans la faune sauvage ne peut pas être totalement exclue. La maladie d'Aujeszky reste, en France, un risque mineur entraîné par l'alimentation à base de viande crue, étant donné son éradication du cheptel porcin français. Il convient cependant de faire attention à la provenance de la viande porcine pour éviter tout risque de contamination.

3.2.3.3.4. Contaminations parasitaires

Concernant les parasites, une étude allemande réalisée sur 35 régimes BARF commerciaux a démontré que 11 % des échantillons contenaient le parasite *Sarcocystis cruzi* et 11 % le parasite *Sarcocystis tenella*. Ces deux parasites provoquent des coccidioses chez le chien et le chat mais ne sont pas transmissibles à l'homme. *Toxoplasma gondii*, quant à lui, était présent dans 6 % des échantillons. Cependant, les produits contenant ces parasites sont vendus congelés or la congélation entraîne une inactivation de ces deux types de parasites au bout de deux jours. Ces parasites ne représentent donc pas de danger si une congélation de quelques jours a eu lieu avant la consommation.

Les contaminations par des parasites sont beaucoup moins importantes que celles par les bactéries. De plus, une congélation de la viande avant distribution pendant quelques jours suffit à se débarrasser de la plupart des parasites mais pas des bactéries. Le parasitisme reste donc un problème mineur de l'alimentation BARF pour la santé animale et humaine comparé aux contaminations bactériennes (van Bree et al., 2018).

3.2.3.4. Facteurs anti-nutritionnels présents dans les régimes BARF

3.2.3.4.1. Avidine et inhibiteur de la trypsine dans l'œuf cru

Les œufs sont un élément récurrent des régimes BARF, ils y sont bien entendu distribués crus. Le blanc d'œuf contient certains facteurs antinutritionnels qui habituellement ne posent aucun souci car ils sont détruits en grande partie par la cuisson : l'avidine et un inhibiteur de la trypsine.

L'avidine est une molécule présente dans le blanc d'œuf. Elle représente 0,05 % des protéines du blanc d'œuf. Elle se fixe à la biotine ou vitamine B8, et empêche l'absorption. La liaison formée entre la biotine et l'avidine n'est pas hydrolysable par les enzymes de l'intestin grêle. Un déficit en biotine peut entraîner des problèmes dermatologiques (dermatite, alopecie et poils terne). Une étude réalisée sur 20 chats nourris avec en partie du blanc d'œuf non cuit a mis en évidence un déficit en biotine au bout de 11 semaines de ce régime (Pastoor et al., 1991). Cependant, les régimes proposés contenaient soit 18,5 % soit 32 % de blanc d'œuf déshydraté sans que le jaune d'œuf ne soit distribué. Or le jaune d'œuf, est très riche en biotine et en présence de blanc d'œuf cru, l'avidine va se lier à la biotine présente dans le jaune et n'altérera pas les autres sources de biotine (Case, 2011). Ainsi, les risques de déficiences restent faibles sauf si le blanc d'œuf cru est distribué sans le jaune par les propriétaires.

Le blanc d'œuf contient aussi un groupe de protéines ayant une activité anti-trypsine dont les effets nutritionnels sont plus préoccupants que ceux concernant l'avidine. En effet, des études ont montré que l'ingestion de deux blancs d'œufs crus par jour entraîne des selles molles (Bateman, 1916). En cas d'ingestion plus importante, on observe des diarrhées chroniques et une perte de poids. Une relation linéaire entre l'apport d'inhibiteurs de la trypsine et la perte de digestibilité protéique a été mise en évidence (Mabee et al., 1951).

3.2.3.4.2. Poissons crus et thiaminases

Les thiaminases sont des enzymes contenues dans certains poissons crus (carpe et hareng en particulier) et qui détruisent la thiamine ou vitamine B1. La cuisson détruit les thiaminases et empêche leur action. Une étude a montré une déficience en thiamine chez des chats nourris avec des carpes ou des harengs crus. Les signes cliniques de déficience apparaissent entre 23 à 40 jours après la mise en place de ce régime (C. Smith et al., 1944). Certains poissons ne possèdent pas de thiaminase (perche, poisson chat...). D'autres poissons possèdent des niveaux intermédiaires de thiaminase (brochet, morue, mulot...) dont on ne sait pas à l'heure actuelle s'ils sont suffisants pour déclencher une déficience. Les chats ayant des besoins plus importants que les chiens en thiamine, ils sont plus susceptibles

d'être touchés par ce type de carence. Les signes cliniques de déficience en thiamine sont les suivants : anorexie, perte de poids, dépression, troubles neurologiques - ataxie, parésie, crises convulsives... - (Loew et al., 1970 ; Case, 2011). Il n'est donc pas recommandé de donner du poisson cru aux carnivores domestiques, sous peine de voir se développer des déficiences importantes. De plus, la cuisson permet aussi de se débarrasser des parasites que peuvent héberger les poissons crus (Anisakis).

3.2.3.4.3. Légumineuses, tanins, acide phytique et glycoside cyanogéniques

Les légumineuses contiennent des facteurs antinutritionnels tels que des inhibiteurs de la trypsine déjà évoqués pour l'œuf, de l'acide phytique et des tanins. L'acide phytique entraîne une diminution de la biodisponibilité des minéraux. Les tannins se lient aux protéines par des liaisons hydrogènes et des interactions hydrophobes. Certains haricots (*Phaseolus genus*) renferment aussi des glycosides cyanogéniques qui entraînent la libération d'hydrogène de cyanure et se fixent sur le fer présent dans l'hème ou au niveau du cytochrome oxydase. On retrouve ces composés cyanogéniques dans les pépins et noyaux de certains fruits (pomme, abricot, prune) ou encore dans le manioc ou le lin. Ces différents facteurs antinutritionnels sont en grande partie détruits lors de la cuisson. Cependant, le danger représenté par ces facteurs antinutritionnels reste minime car la distribution de légumineuses et de manioc ou pommes de terre crus est déconseillée par la majorité des sites spécialisés dans l'alimentation crue (Handl, 2014).

3.2.3.5. Risque de corps étrangers digestifs ou de fracture dentaire

Différentes revues sur l'alimentation BARF évoquent les dangers liés à l'ingestion d'os (Handl, 2014 ; Freeman et al., 2013) : fractures dentaires, corps étrangers digestifs... Il est souvent affirmé, par les sites promouvant une alimentation crue, que les os crus sont beaucoup moins dangereux que les os cuits. Cependant, aucune étude à ce jour n'a évalué la prévalence de ces divers troubles chez des individus nourris avec des os crus comparés à ceux nourris avec des os cuits. Néanmoins, les os qu'ils soient crus ou cuits forment dans le tube digestif des esquilles plus ou moins grossières en particulier chez le chien qui broient moins les aliments qu'il ingère comparé au chat. Ces esquilles sont susceptibles d'entraîner des lésions voire des perforations du tube digestif.

3.2.3.6. Risque d'hyperthyroxinémie

Dans de nombreux régimes crus pour les chiens, les propriétaires distribuent des cous de volaille ou bien des têtes d'animaux. Ce type d'aliment peut contenir du tissu thyroïdien frais ou déshydraté qui, lorsqu'il est consommé en quantité trop importante, peut entraîner une hyperthyroïdie. Plusieurs rapports de cas ont été publiés à ce sujet (Köhler et al., 2012 ; Zeugswetter et al., 2013). Les signes cliniques mis en évidence ont été une perte de poids, de l'agressivité, une tachycardie, des halètements et de l'agitation. Certains chiens ne présentaient cependant aucun signe clinique. La thyroxinémie est rentrée dans les valeurs usuelles après l'arrêt de ce type d'aliment.

Même si à l'heure actuelle, peu de cas sont recensés, il convient d'être vigilant concernant la distribution de cous de volaille crus si le tissu thyroïdien est toujours présent et d'éviter d'en distribuer trop régulièrement.

3.2.4. Conclusion

Arguments en faveur du régime BARF	Vrai	Faux
Meilleure digestibilité	✓ <i>Par rapport aux croquettes</i>	✓ <i>Par rapport à un régime ménager cuit</i>
Diversification de la flore fécale	✓ <i>Mais ↑ flore pathogène</i>	✗
Diminution du risque de calculs d'oxalate de calcium	✓ <i>Par rapport aux croquettes</i>	✗
Amélioration de l'hygiène bucco-dentaire	✓	✗
Arguments en défaveur du régime BARF	Vrai	Faux
Déséquilibres nutritionnels fréquents	✓	✗
Risque d'une alimentation hyperprotéinée pour la fonction rénale	✗	✓
Contamination par des agents pathogènes	✓	✗
Risques zoonotiques importants	✓	✗
Présence de facteurs antinutritionnels	✓	✗
Risque de corps étrangers digestifs, fracture dentaire...	<i>Pas de données suffisantes pour conclure</i>	

Tableau 47 : Récapitulatif de des intérêts et des limites nutritionnels des régimes à base de viande crue

En conclusion, les régimes à base d'aliments crus sont très fréquemment déséquilibrés, comme tous les régimes ménagers, car ils sont dans la majorité des cas réalisés par les propriétaires sans concertation avec un professionnel. De plus, aux déséquilibres nutritionnels s'ajoutent des risques propres à la consommation d'aliments crus : le portage très fréquent de bactéries pathogènes malgré la congélation. Ces contaminations bactériennes, même si elles ont rarement des conséquences pour le chien ou le chat, représentent un danger potentiel pour les propriétaires par l'excrétion de pathogènes zoonotiques. C'est pour cela que de nombreuses associations vétérinaires, telles que la World Small Animal Veterinary Association, l'American Veterinary Medical Association, l'American Animal Hospital Association et la Canadian Veterinary Medical Association déconseillent l'usage de ce type d'alimentation pour des problèmes de santé publiques mais aussi pour les risques importants de déséquilibres nutritionnels (American Animal Hospital Association, 2011 ; American Veterinary Medical Association, 2012 ; The World Small Animal Veterinary Association's, 2017). De plus, la cuisson permet habituellement la destruction d'un nombre important de facteurs antinutritionnels présents dans les aliments crus.

Les bénéfices prouvés de l'alimentation crue sont, de plus, assez limités à ce jour. Une meilleure digestibilité des régimes à base de viande crue a été démontrée en comparaison avec les croquettes mais reste équivalente à celle de la viande cuite. La consommation de viande crue entraîne une diversification de la flore fécale et une amélioration de la qualité des selles. Cependant, l'intérêt de cette diversification fécale est à relativiser. En effet, une partie de cette diversification est imputable à la prolifération de bactéries pathogènes. L'alimentation BARF présente aussi les avantages de tout aliment humide en permettant une diminution de la formation de certains types de calcul. Un intérêt spécifique de l'alimentation BARF est l'amélioration de l'hygiène bucco-dentaire permise par la mastication d'os charnus. De nombreuses études évoquent les dangers potentiels de l'ingestion d'os : fracture dentaire, obstruction/perforation digestive... Cependant, aucune étude à ce jour ne s'est penchée sur la prévalence de ce type de problèmes chez les chiens et chats nourris avec une ration BARF.

3.3. Les régimes végétariens et/ou végans

Par opposition au régime BARF, prônant un retour à une alimentation plus proche des ancêtres des carnivores domestiques et donc beaucoup plus riche en produits carnés, les régimes végans et végétariens se sont développés pour le chien et le chat. En effet, on retrouve sur le marché de plus en plus d'aliments industriels exempts d'origine animale.

3.3.1. Apports nutritionnels : comparaison entre des croquettes végétariennes et des croquettes conventionnelles

Nous prenons l'exemple d'un paquet de croquette végane pour chien et comparons sa composition et les apports nutritionnels avec ceux de croquettes traditionnelles de la marque Hill's.



Croquettes « Yarra Vega Dog Food »

Ingrédients :

Graines de soja entier biologique, grains de blé complet biologique, semoule de blé biologique, maïs jaune biologique, graine de tournesol biologique (source de fibres), minéraux, huile de noix de coco biologique, levure de brasseur (source de protéines hautement digestibles et d'acides aminés), lupin blanc entier biologique (source d'acides aminés essentiels), baobab biologique (source de calcium et de potassium), algue déshydratée biologique.

Composants analytiques :

Protéines : 21 %, cellulose : 8 %, matières grasses : 13 %, cendres : 8,5 %, humidité : 8 %, glucides : 41,5 %, calcium : 1,2 %, phosphore : 0,9 %, sodium : 3 %, magnésium : 0,23 %, vitamine A (rétinol) : 19100 UI/kg

Énergie : 3291 kcal/kg



Croquettes « Hill's Sciences Plan Mini Adult 1-6 » :

Ingrédients :

Maïs, blé, farine de poulet (27 %) et de dinde (40 % de volaille au total), graisse animale, farine de gluten de maïs, hydrolysate de protéines, huile végétale, minéraux, pulpe de betteraves déshydratées, graines de lin.

Additifs nutritionnels : vitamine A [E 672] (28 380 UI/kg), vitamine D3 [E 671] (1 670 UI/kg), fer [E1] (297 mg/kg), iode [E2] (3 mg/kg), cuivre [E4] (37,7 mg/kg), manganèse [E5] (13,1 mg/kg), zinc [E6] (252 mg/kg), sélénium [E8] (0,6 mg/kg).

Composants analytiques :

Protéines : 21,8 % ; matières grasses : 15 % ; cellulose : 1,7 % ; cendres : 4,7 % ; calcium : 0,74 % ; phosphore : 0,64 % ; potassium : 0,69 % ; sodium : 0,28 % ; acides gras oméga 3 : 0,47 % ; vitamine C : 90 mg/kg ; vitamine E : 600 mg/kg ; β -carotène : 1,5 mg/kg

Énergie : 3744 kcal/kg

Le tableau 48 présente les apports nutritifs de nos deux exemples et les compare aux recommandations nutritionnelles actuelles :

Nutriments	Unité / Mcal d'EM	Croquettes véganes Yarrah	Croquettes classiques Hill's	Apports recommandés		
				NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	64	58	20	45	52,10
Matières grasses	g	39,5	40	13,8	13,75	13,75
Glucides	g	129	128	-	-	-
Cellulose brute	g	25,8	4,5	-	-	-
Calcium	g	3,6	2	1,0	1,25	1,45
Phosphore	g	2,7	1,7	0,75	1	1,16
Rapport Ca/P	-	1,3	1,2	-	1-2	1-2
Potassium	g	-	1,8	1,0	1,5	1,45
Sodium	g	0,9	0,7	0,2	0,2	0,25
Chlorure	g	-	-	0,3	0,3	0,38
Magnésium	g	0,7	-	0,15	0,15	0,20
Vitamine A	UI	5803	2573	1263	1250	1754
Vitamine C	mg	-	24,2	-	-	-
Vitamine D	UI	-	190,1	136	125	159
Vitamine E	UI	-	16	7,5	12,5	10,40

Tableau 48 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'une référence de croquettes véganes et d'une référence de croquette classique et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chien

Les croquettes végétaliennes Yarrah pour chien, tout comme les croquettes traditionnelles, suivent les différentes recommandations nutritionnelles si on se fie à leur composition analytique. La teneur en cellulose brute des croquettes véganes est cependant bien plus élevée que celle des croquettes classiques, à cause d'un apport végétal beaucoup plus important. Le taux de cellulose brute est de 8 % ou 25,8 g/Mcal, alors qu'il est classiquement recommandé de ne pas dépasser les 5 % de matière brute chez le chien comme chez le chat (Thatcher et al., 2010). Rappelons que les fibres sont nécessaires au bon déroulement du transit et à la bonne santé des cellules digestives mais peuvent, si elles sont distribuées en quantité trop importante, diminuer l'absorption des nutriments. En effet, une étude réalisée avec des croquettes pour chien comportant des teneurs différentes en cellulose brute a démontré que si la digestibilité des lipides n'était pas altérée par la présence de cellulose, la digestibilité des protéines et de l'énergie diminuait fortement avec l'augmentation du pourcentage de fibres. De même, la digestibilité du potassium, du sodium et du chlorure est altérée par une augmentation du taux de cellulose (Kienzle, Dobenecker, et al., 2001). Ainsi, même si les apports théoriques en protéines et minéraux suivent les recommandations, la teneur importante en fibres peut entraîner une diminution de la digestibilité et donc des carences.

Les difficultés d'une alimentation végane pour des animaux de nature carnivore sont, notamment, les différents apports en acides aminés. En effet, le profil d'acides aminés des végétaux n'est pas équivalent à celui de la viande et il est compliqué d'apporter chaque acide aminé en quantité nécessaire avec des végétaux uniquement. Pour pallier ces problèmes d'apports, il faut souvent ajouter de nombreux compléments synthétiques. Dans ces croquettes véganes, les protéines animales sont remplacées par du soja, du blé, du maïs et du tournesol. On retrouve aussi du lupin blanc, qui est relativement riche en protéines et plus riche en arginine que le soja, le blé et le maïs, et aucun additif n'est mentionné sur la composition. Les fabricants ont aussi ajouté de la levure qui est, elle aussi, riche en protéines, en vitamine E, B5, B6 et B8 et en minéraux (zinc et sélénium). Cependant, toutes ces sources de protéines végétales restent faibles en acides aminés soufrés. Des algues sont aussi ajoutées, elles sont souvent utilisées comme source d'acide arachidonique et de fer.

Pour vérifier l'équilibre de ces croquettes, il aurait été intéressant de connaître les apports en différents acides aminés essentiels. Cependant, ces croquettes pour végans respectent, d'après leur composition analytique, les recommandations et les besoins nutritionnels du chien, mais seule une vérification plus poussée de la teneur en acides aminés et de l'impact de la teneur en fibres sur la digestibilité permettrait de conclure avec certitude sur l'équilibre de ces croquettes.

Les croquettes végétariennes ou véganes pour chats sont d'autant plus compliquées à élaborer que le chat a des besoins plus élevés en protéines et en acides aminés d'origine animale (arginine, acide aminé soufré, taurine), ainsi qu'en lipides (acide arachidonique) et en vitamines (vitamine A, D3).

Pour les chats, nous prenons l'exemple d'une autre marque assez répandue de croquette végan pour chat (Benovo) et comparons sa composition et les apports nutritionnels avec ceux de croquettes traditionnelles de la marque Hill's :



Croquettes « Benovo Adult Original pour chat » :

Ingrédients :

Soja, blé, farine de gluten de maïs, maïs, riz blanc, huile de tournesol, pulpe de betterave à sucre, levure de bière, arôme à base de levure, graines de lin, algues, minéraux, vitamines, fructo-oligosaccharides (FOS probiotiques) (0,09 %), spiruline, extraits de *Yucca Schidigera* (0,01 %)

Additifs nutritionnels : vitamines : vitamine A (asretinyl acetate) 26 000 IU, vitamine D2 (ergocalciferol) 2 200 IU, vitamine E 220 IU ; oligo éléments: fer (sulfate de fer monohydrate) 240 mg, zinc (sulfate de zinc monohydrate) 267mg, manganèse (sulfate de manganèse monohydraté) 90 mg, cuivre (sulfate de cuivre) 30 mg, sélénium (sélénite de sodium) 0,64 mg, acide linoléique (oméga 6) 6,79 %, acide linoléique (oméga 3) 0,26 % ; acide aminé : taurine 910 mg

Composition analytique :

Protéines : 28 %, matières grasses : 13 %, cellulose brute : 3 %, cendres : 4 %, acide linoléique : 6,82 %, acide linoléique : 0,27 %, humidité 7 %, calcium : 0,28 %, phosphore : 0,4 %, ENA : 45 %

Énergie : 3 658 kcal/kg



Croquettes « Sciences Plan Adult 1-6 » pour chat :

Ingrédients :

Farine de volaille, blé, graisses animales, maïs, gluten de maïs, riz, hydrolysate de protéines, minéraux, pulpe de betteraves déshydratée, huile de poisson.

Additifs nutritionnels : vitamine A [E 672] (17 200 UI/kg), vitamine D3 [E 671] (1 010 UI/kg), fer [E1] (87 mg/kg), iode [E2] (1,4 mg/kg), cuivre [E4] (8,6 mg/kg), manganèse [E5] (9 mg/kg), zinc [E6] (180 mg/kg), sélénium [E8] (0,24 mg/kg).

Conservateurs grâce à des antioxydants et substances naturels.

Composition analytique

Protéines brutes : 32,5 %, matières grasses : 20,5 %, cellulose brute : 1,4 %, cendre : 5,4 %, calcium : 0,78 %, phosphore : 0,75 %, magnésium : 0,08 %, potassium : 0,77 %, sodium : 0,36 %, ENA : 36,2 %

Énergie : 4 075 kcal/kg

Le tableau suivant présente les apports nutritifs de nos deux exemples et les compare aux recommandations nutritionnelles actuelles :

Nutriments	Unité/ Mcal d'EM	Croquettes véganes Benovo	Croquettes classiques Hill's	Apports recommandés		
				NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	76,5	80	50,00	65,00	62,50
Matières grasses	g	35,5	50	22,50	22,50	22,50
Glucides	g	123	89	-	-	-
Cellulose brute	g	8,2	3,4	-	-	-
Calcium	g	0,77	1,9	0,72	1,5	1,48
Phosphore	g	1,09	1,8	0,64	1,25	1,25
Rapport Ca/P		0,7	1,05	-	1 à 2	1 à 2
Potassium	g	-	1,9	1,30	1,50	1,50
Sodium	g	-	0,9	0,17	0,50	0,19
Chlorure	g	-	-	0,24	0,75	0,29
Magnésium	g	-	0,19	0,10	0,10	0,10

Tableau 49 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'une référence de croquettes véganes et d'une référence de croquettes classique et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, la NRC et l'AAFCO chez le chat

Les croquettes véganes Benovo ne remplissent pas les besoins minimaux en calcium et phosphore du chat. De plus, il existe un déséquilibre entre l'apport de phosphore et de calcium avec un rapport phospho-calcique inférieur à 1. Cet exemple illustre bien les difficultés d'apport d'une quantité suffisante de calcium et de phosphore pour les carnivores à partir d'éléments végétaux. Les apports synthétiques en minéraux de cet aliment ne sont pas suffisants pour contrebalancer le déficit phospho-calcique des matières premières. Aucune information concernant les autres minéraux n'est délivrée par le fabricant. L'apport glucidique est nettement supérieur dans les croquettes véganes comparées aux croquettes classiques. Cette différence s'explique par le fait que l'apport de protéines végétales entraîne inévitablement un apport glucidique important dû aux nombreux glucides présents dans les végétaux. De plus, pour contrebalancer les apports caloriques provenant des glucides, le taux de matière grasse est diminué dans les croquettes véganes mais reste supérieur aux recommandations. Le taux de cellulose brute est, tout comme pour les croquettes pour chiens, supérieur à celui des croquettes classiques. Cependant dans le cas des croquettes Benovo, il reste relativement faible et ne dépasse pas les recommandations.

Dans ces croquettes véganes, des algues sont aussi utilisées, probablement pour leur apport en acide arachidonique, ainsi que des graines de lin riches en oméga 3 et minéraux (cuivre, magnésium, manganèse, phosphore) et de la spiruline elle aussi très riche en protéines et en minéraux (cuivre, fer, manganèse, magnésium...). Contrairement aux croquettes pour chien de notre exemple, ces croquettes comportent de nombreux additifs (minéraux, vitamines, acides gras et taurine).

Ces croquettes véganes ne suivent pas les recommandations nutritionnelles pour le chat et sont une illustration des difficultés à obtenir, même industriellement et avec de nombreux additifs synthétiques, un aliment végan ou végétarien équilibré pour les carnivores domestiques.

3.3.2. Intérêts nutritionnels potentiels des régimes végétariens

Le choix d'un régime végétarien pour les chiens ou les chats par les propriétaires résulte d'un choix idéologique et non, contrairement aux régimes précédemment cités, de la recherche du régime le plus adapté pour leurs animaux de compagnie. En effet, les propriétaires végétariens ou végans recherchent pour leurs compagnons une alimentation équilibrée qui respecte leurs convictions. Est-il possible de proposer aux chiens et aux chats des régimes végétariens/végans qui combinent leurs besoins nutritionnels ?

Les régimes végétariens et/ou végans ne présentent pas d'intérêt nutritionnel particulier comparés aux régimes classiques. L'un des arguments parfois utilisé par les fabricants de croquettes sans produits animaux est que l'absence de ceux-ci permet d'éviter certaines protéines animales qui peuvent être des allergènes. Cependant, il faut rappeler que les protéines végétales peuvent elles aussi entraîner des allergies alimentaires, en particulier le blé, qui est le troisième allergène alimentaire le plus fréquemment retrouvé chez le chien ou le chat.

3.3.2.1. Est-il possible de nourrir des chiens avec un régime végétarien équilibré ?

Une étude réalisée en 2009 s'est intéressée à la possibilité de nourrir des chiens avec un régime végétarien. Douze Huskys utilisés en tant que chiens de traîneau, ont été nourris pour la moitié d'entre eux avec un régime conventionnel à base de viande de volaille et pour l'autre moitié avec un régime végétarien à base de soja et maïs. Tous les acides aminés essentiels et des minéraux sont apportés par le régime végétarien en quantité supérieure aux recommandations de la NRC. Les chiens ont reçu ce régime pendant 16 semaines dont 10 semaines où ils ont travaillé en tant que chiens de traîneau. Durant ces 16 semaines, aucune différence clinique n'a pu être mise en évidence entre les deux groupes de chiens. De plus, dans les deux cas, les analyses sanguines ont montré une augmentation du nombre de globules rouges et aucun individu n'a développé d'anémie (Brown et al., 2009). Cependant, cette étude s'est intéressée à des chiens qui ont besoin d'un apport calorique important. L'apport glucidique conséquent inévitablement associé à l'apport de protéine végétale ne risque pas, chez ce type de chien à haut besoin calorique, d'être trop important. D'autre part les carences alimentaires mettent souvent plusieurs mois à se manifester. À

l'heure actuelle, peu de données sont disponibles sur l'utilisation à long terme de ce type de régime chez les carnivores domestiques.

Cette étude met en avant la possibilité de réaliser un régime industriel végétarien équilibré pour le chien à court et moyen terme en y ajoutant des compléments alimentaires synthétiques (vitamines, acides aminés...).

3.3.2.2. *Est-il possible de nourrir un chat avec un régime végétarien équilibré ?*

Chez le chat, aucune étude à l'heure actuelle, n'a suivi l'état clinique et les paramètres sanguins suite à l'administration pendant plusieurs semaines d'un régime végétarien ou végétalien élaboré en suivant les recommandations nutritionnelles actuelles.

Une étude basée sur l'évaluation de 23 régimes végétariens pour chien et pour chat a démontré que seuls 8 d'entre eux, dont 3 de gamme vétérinaires, respectaient l'ensemble des recommandations nutritionnelles de l'AAFCO (Kanakubo et al., 2015). Il est donc possible de réaliser des régimes végétariens industriels équilibrés pour le chien et pour le chat.

Cependant aucun suivi des animaux nourris avec ces régimes n'a été effectué et les répercussions d'une telle alimentation sur le long terme n'ont pas été évaluées.

3.3.2.3. *Utilisation des régimes végétariens en cas d'allergie alimentaire*

Les allergies alimentaires sont diagnostiquées par la mise en place d'un régime d'éviction : l'animal suspecté d'allergie alimentaire est nourri avec un aliment contenant des protéines avec lesquels il n'a jamais été en contact ou des protéines hydrolysées non reconnues par le système immunitaire. Cependant, l'utilisation de régimes à base de protéines hydrolysées n'empêche pas toujours les réactions allergiques. L'utilisation d'un régime végétarien peut servir de régime d'éviction permettant d'éviter toutes les protéines animales. Cela suppose cependant que l'animal ne soit pas allergique à des protéines végétales (le blé est le troisième allergène alimentaire le plus fréquent chez le chien et le chat). Ainsi, une étude réalisée sur des chiens potentiellement atteints d'allergie alimentaire a démontré leur efficacité en tant que régime d'éviction et a permis de stabiliser leur état - disparition des pyodermites chronique et du prurit - (Aufox et al., 2018). Cette étude permet d'envisager l'utilisation à des fins thérapeutiques de régimes végétariens.

3.3.3. Limites nutritionnelles des régimes végétariens

Les difficultés de réalisation d'un régime végétarien ou végétalien équilibré pour les chiens et les chats sont les conséquences des particularités digestives et métaboliques de ces deux carnivores domestiques. En effet, le chien et le chat ont besoin de certains nutriments se trouvant uniquement dans les produits d'origine animale, contrairement aux omnivores qui peuvent trouver tous les nutriments qui leur sont essentiels dans les végétaux (mis à part la vitamine B12). De plus, le régime alimentaire des chats et des chiens doit être riche en certains nutriments dont les végétaux seuls ne peuvent combler le besoin.

3.3.3.1. Déficit d'apports protéiques et profils d'acides aminés inadéquats

Les apports protéiques nécessaires aux carnivores sont bien plus importants que ceux de l'homme. L'homme doit recevoir au minimum 1 g de protéine par kilo de poids contre 2 à 3 g chez le chien et 5 à 6 g chez le chat. De plus, chez l'homme, seuls 8 acides aminés sont essentiels, contre 10 et 11 chez le chien et le chat. Les végétaux ne permettent pas d'apporter l'ensemble de ces acides aminés.

Le tableau 50, ci-dessous, compare les profils en acides aminés de diverses sources de protéines végétales et animales, ainsi que les apports recommandés en ces mêmes acides aminés pour le chien et le chat (tableau 51).

Acides aminés en % sur matière brut	Blé (farine complète)	Maïs en grain	Riz brun en grain	Pois	Soja (farine dégraissée)	Viande de boeuf	Viande de poulet avec peau
Protéine totale	13,70	9,10	7,50	5,40	51,50	15	17,60
Arginine	0,64	0,47	0,57	0,43	3,65	1,15	1,10
Histidine	0,32	0,28	0,19	0,11	1,27	0,44	0,52
Isoleucine	0,51	0,33	0,32	0,20	2,28	0,58	0,88
Leucine	0,93	1,15	0,62	0,32	3,93	1,20	1,28
Lysine	0,38	0,26	0,29	0,32	3,13	1,16	1,26
Méthionine	0,21	0,20	0,17	0,08	0,63	0,43	0,48
Cystéine	0,32	0,17	0,09	0,03	0,76	0,23	0,24
Phénylalanine	0,65	0,46	0,39	0,20	2,45	0,64	0,76
Tyrosine	0,40	0,37	0,28	0,11	1,78	0,38	0,55
Thréonine	0,40	0,35	0,28	0,20	2,04	0,47	0,84
Tryptophane	0,21	0,07	0,10	0,04	0,68	0,17	0,16
Taurine	-	-	-	-	-	0,008	0,007
Valine	0,62	0,47	0,44	0,24	2,35	0,92	0,82

Tableau 50 : Comparaison des apports en acides aminés de différentes sources protéiques (d'après National Research Council, 2006)

Acides aminés	Apport recommandé pour un chat de 4 kg en g	Apport recommandé pour un chien de 10 kg en g
Protéine totale	19,8	32,8
Arginine	0,76	1,1
Histidine	0,256	0,62
Isoleucine	0,44	1,2
Leucine	0,25	2,2
Lysine	1,00	1,1
Méthionine	0,17	1,1
Méthionine + Cystéine	0,34	2,1
Phénylalanine	0,40	1,5
Pénylalanine + Tyrosine	1,52	2,4
Thréonine	0,52	1,4
Tryptophane	0,128	0,46
Taurine	0,04	-
Valine	0,52	1,6

Tableau 51 : Apports recommandés en acides aminés pour un chat et un chien de poids moyen (d'après National Research Council, 2006)

Les acides aminés qui posent problème et risquent d'être amenés en trop faible quantité en cas de régime végétarien ou végan sont l'arginine, les acides aminés soufrés (méthionine et cystéine), le tryptophane et la lysine, qui sont retrouvés en moindre quantité dans les végétaux que dans les produits animaux.

Des chercheurs ont établi les profils idéaux en acides aminés pour le chien et le chat. Ils sont présentés dans le tableau 52, ci-dessous :

Acides aminés	Chien	Chat	Soja	Blé	Pois	Bœuf
Lysine	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Méthionine + cystine	0,64	1,00	0,44	1,39	0,34	0,57
Tryptophane	0,22	0,19	0,22	0,55	0,13	0,14
Thréonine	0,67	0,87	0,65	1,05	0,63	0,41
Arginine	0,71	1,12	1,16	1,68	1,34	0,99
Isoleucine	0,57	0,63	0,73	1,34	0,63	0,50
Valine	0,75	0,75	0,75	1,63	0,75	0,79
Leucine	1,00	1,50	1,26	2,45	1,00	1,03
Histidine	0,29	0,38	0,4	0,84	0,34	0,38
Phénylalanine + tyrosine	1,00	1,12	1,35	2,76	0,97	0,88

Tableau 52 : Profil idéal en acides aminés (relatif à la lysine) pour le chien et pour le chat et comparaison avec quelques ingrédients utilisés en alimentation animale (d'après Baker et al., 1991)

Il est impossible d'obtenir un profil d'acides aminés équivalent à celui de la viande avec un seul type de protéine végétale : les céréales, par exemple, ont tendance à présenter de faibles teneurs en lysine, alors que les légumineuses présentent de très faibles teneurs en méthionine. De même, le tryptophane est présent surtout dans le riz et les légumineuses

mais pas dans les autres sources de protéines végétales. Seul le soja se rapproche des apports en acides aminés de la viande, cependant il n'apporte pas de taurine, essentielle au chat. Pour éviter toute carence, l'association de différentes plantes aux profils d'acides aminés complémentaires est indispensable et l'ajout d'acides aminés de synthèse est obligatoire.

En plus d'un profil en acides aminés peu adapté aux besoins du chat et du chien, les apports quantitatifs en acides aminés sont souvent bien plus faibles dans les végétaux que dans les produits animaux. Il faut donc apporter des végétaux en quantité importante pour combler les besoins protéiques, ce qui entraîne le plus souvent l'incorporation de davantage de glucides présents, en grande quantité dans les végétaux.

De nombreuses carences protéiques peuvent se développer suite à la mise en place d'un régime végétarien/végan déséquilibré: carence en arginine, en acides aminés soufrés, en lysine, en tryptophane et, pour le chat, en taurine.

Une étude réalisée en 2015, s'est intéressée aux apports protéiques et en acides aminés de 13 références de croquettes et de 11 références de pâtées végétariennes pour chien et pour chat. Seule une référence ne contenait pas le taux de protéines minimum recommandé par l'AAFCO. Parmi ces références, 6 d'entre elles ne remplissaient pas les besoins minimums pour au moins un acide aminé : ces déséquilibres concernaient la méthionine, la cystéine, la taurine, la lysine et le tryptophane (Kanakubo et al., 2015).

Une autre étude réalisée sur 34 chats nourris avec un régime commercial ou ménager végétarien depuis plus d'un an et 52 chats nourris avec un régime conventionnel s'est intéressée au taux de taurine sanguine. Sur l'ensemble des chats, 3 chats présentaient un taux de taurine en dessous des recommandations mais au-dessus de la concentration critique. Ces chats ne présentaient pas de carence clinique (Wakefield et al., 2006). La carence en taurine étant bien connue des industriels et des propriétaires, une attention toute particulière est le plus souvent apporté à celle-ci, et les complémentations sont le plus souvent réalisées correctement comme le démontre cette étude.

Une étude réalisée en 2014 a montré un déficit en méthionine et cystéine d'un régime ménager végétarien pour chien composé de lentille, de sarrasin, de levure de bière et d'un complément alimentaire (apportant entre autre de la L-méthionine et de la taurine), d'épinard, d'huile de tournesol et de citrate de calcium (Semp, 2014).

Une étude réalisée sur 2 régimes végétariens a démontré que les 2 régimes présentaient des carences en taurine et méthionine. L'un des régimes ne remplissait pas les exigences de l'AAFCO concernant les apports protéiques et l'autre présentait en plus un déficit en arginine et en lysine (Gray et al., 2004).

Un peu moins récemment, une étude datant de 2001 réalisée en Europe sur 86 chiens végétariens et 8 chats végétariens a étudié la conformité de leurs régimes alimentaires. Seuls 2 régimes répondaient aux recommandations nutritionnelles, les autres présentaient entre autres des déficits en protéines et en taurine malgré des complémentations en cette dernière (Kienzle, Engelhard, 2001).

Ces différentes études confirment la difficulté d'équilibrer en acides aminés une ration pour un carnivore avec comme seul apport des protéines d'origine végétales.

3.3.3.1.1. Carences en arginine

Comme décrit précédemment, le chat est particulièrement sensible à un déficit en arginine et un seul repas carencé entraîne d'importantes conséquences. Ainsi, une heure après la consommation d'un repas sans arginine, les chats adultes présentent de la sialorrhée, de l'ataxie, des vomissements, de la tétanie et, dans les cas les plus sévères, une cyanose et la mort par insuffisance respiratoire (Morris, 1985). Chez le chiot, un repas sans arginine entraîne de la sialorrhée, des vomissements et des tremblements musculaires similaires à ceux observés chez le chat, mais ils n'aboutissent pas à de la tétanie (Ha et al., 1978). Chez le chien adulte, seuls des vomissements sont constatés (Burns et al., 1981). Le déficit en arginine entraîne comme décrit précédemment (partie 1.2.2.3) une hyperammoniémie par arrêt du cycle de l'urée. Cette hyperammoniémie engendre un œdème cérébral via l'activation et l'augmentation de l'expression des aquaporines des astrocytes, des perturbations des neurotransmetteurs (glutamate, GABA, sérotonine, acétylcholine), des perturbations du métabolisme glucidique par inhibition de la pyruvate déshydrogénase et l'activation de la glycolyse, une diminution de l'activité du cycle de Krebs et de la chaîne respiratoire, une augmentation des radicaux libres, une diminution des défenses anti-oxydantes et la perturbation des flux de potassium (Walker, 2014). Ces diverses conséquences d'un excès d'ammonium sont à l'origine des signes cliniques (vomissements, tétanie, tremblements musculaires...) constatés lors de déficit en arginine.

3.3.3.1.2. Carence en acides aminés soufrés

Les légumineuses sont, de manière générale, pauvres en méthionine, au contraire des céréales qui sont relativement riches en cette dernière. De plus, les protéines végétales tendent à être relativement riches en glycine. Or, la glycine peut agir comme un antagoniste de la méthionine (McCarty et al., 2009) ce qui peut renforcer un éventuel déficit en méthionine.

Le chien et le chat ont des besoins élevés en méthionine comparés à l'homme. Les besoins du chat sont cependant bien plus élevés que ceux du chien (les raisons de ce besoin plus important sont expliquées dans la partie 1.2.2). La moitié de la méthionine est utilisée pour la synthèse d'un autre acide aminé soufré, la cystéine ; le phénomène inverse n'est cependant pas possible. Ainsi, la moitié des apports en acides aminés soufrés peut être apportée par la cystéine, mais des apports en méthionine sont dans tous les cas indispensables (National Research Council, 2006).

Une carence en méthionine entraîne chez le chien et le chat une diminution de la prise alimentaire, une perte de poids sévère ainsi que de la léthargie. La méthionine est un donneur de groupe méthyl qui est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques. Une carence en méthionine entraîne donc inévitablement des perturbations importantes notamment dans la réplication cellulaire et la synthèse des phospholipides (National Research Council, 2006). La cystéine est un précurseur du glutathion, un puissant antioxydant, chez le chien et le chat, et de la félinine chez le chat. Un déficit en méthionine et en cystéine entraîne donc une diminution de la synthèse de ces deux molécules.

3.3.3.1.3. Carences en tryptophane

Le tryptophane est un précurseur de la niacine ou vitamine B3 chez le chien. Le chat ne synthétise que de faibles quantités de niacine à partir de tryptophane. Le tryptophane est aussi un précurseur de certains neurotransmetteurs, tels que la sérotonine et la mélatonine.

Une carence en tryptophane entraîne une diminution de la prise alimentaire associée à une perte de poids chez le chien comme chez le chat (Milner, 1979 ; Rogers et al., 1979).

3.3.3.1.4. Carences en taurine

La taurine est un acide aminé essentiel propre au chat. Cet acide aminé est présent quasi exclusivement dans les produits d'origine animale. Seules quelques algues, en particulier certaines algues rouges, comportent des teneurs en taurine suffisantes pouvant offrir une alternative aux produits carnés (McCusker et al., 2014). Il est à noter que la cuisson entraîne une dégradation de la taurine. Les aliments industriels sont donc tous complétés en taurine.

La taurine n'est pas incorporée dans les protéines de grandes tailles mais est libre dans les tissus ou constitue de petits peptides. Les carences en taurine entraînent de nombreux troubles chez le chat comme la rétinopathie taurinoprive (dégénérescence rétinienne). En effet, la taurine régule les flux de calcium et potassium au niveau des

photorécepteurs rétiniens. En l'absence de taurine, ces cellules photoréceptrices se dégradent progressivement jusqu'à leur destruction. Les signes cliniques apparaissent généralement lorsqu'une grande partie de la rétine est déjà touchée, la cécité est alors irréversible chez la plupart des chats (Case, 2011 ; Hayes et al., 1989 ; National Research Council, 2006).

Un déficit en taurine peut aussi être à l'origine d'une cardiomyopathie dilatée par défaut de contractibilité du cœur causée par un déséquilibre des flux ioniques dans les cellules cardiaques. Ces cardiomyopathies apparaissent uniquement en cas de carence sévère et une complémentation en taurine permet une amélioration des signes cliniques en 3 à 4 semaines (Pion et al., 1992).

Des troubles de la reproduction sont aussi rapportés. Chez la chatte gestante, une carence en taurine peut entraîner des avortements et des malformations, ainsi que des poids de naissance plus bas et des retards de croissance (Case, 2011 ; Hayes et al., 1989).

3.3.3.1.5. Carences en L-carnitine

La L-carnitine est une pseudo-vitamine : elle possède des propriétés similaires aux vitamines, mais la question de son caractère essentiel se pose. Elle n'est présente que dans les cellules animales, en particulier dans les muscles, et sa fonction première est le transport des acides gras à longue chaîne au travers de la membrane mitochondriale pour la réalisation de la β -oxydation. Sa synthèse se déroule dans diverses cellules de l'organisme et requiert de la lysine, de la méthionine, de l'acide ascorbique, du fer, de la vitamine B6 et de la niacine. La dernière étape de sa synthèse a lieu dans le foie et permet la conversion du butyrobétaine en L-carnitine, mais ce taux de conversion est limité (Bremer, 1983).

Une étude réalisée sur 7 chiens et chats nourris avec des régimes végétariens a mesuré le taux de L-carnitine sanguin. 3 chiens présentaient des taux de L-carnitine inférieurs à la normale (Semp, 2014).

En cas de carence en L-carnitine, qui peut notamment être due à des carences en lysine ou en méthionine, une cardiomyopathie dilatée peut se déclarer chez le chien, ainsi que des douleurs musculaires, une intolérance à l'exercice et de la léthargie (Sanderson, 2006).

3.3.3.1.6. Différence de digestibilité entre les protéines végétales ou animales

Outre un risque plus élevé de carences en acides aminés dues à des profils protéiques différents, la question de la digestibilité et donc de l'assimilation des protéines végétales comparées aux protéines animales se posent.

Une étude comparant la digestibilité de protéines de bovin transformées comparée aux protéines de poulet et à la farine de gluten de maïs chez le chat a démontré une digestibilité supérieure et une meilleure assimilation de l'azote des deux sources de protéine animale comparée à celle de maïs (Funaba et al., 2005). De plus, comparé à la farine animale, le gluten de maïs entraîne, chez le chat, une moins bonne rétention du calcium, du phosphore et du magnésium (Funaba et al., 2002). Comparée aux protéines animales transformées, la farine de gluten de maïs a donc une digestibilité diminuée et impose des apports en minéraux plus importants.

Chez le chien, il a été démontré que la différence de digestibilité entre des croquettes à base de protéine de soja et des croquettes à base de sous-produit de volaille n'était pas significative. Cependant, une augmentation plus importante de l'excrétion d'urée après l'ingestion de croquette à base de soja comparée à celles de volaille peut être le reflet d'une moins bonne utilisation et d'une moins bonne valeur biologique des protéines végétales comparé aux protéines animales (Tortola et al., 2013).

Ces études tendent à montrer une digestibilité plus faible de certaines protéines végétales qui peuvent aussi être à l'origine d'une moins bonne absorption/utilisation des minéraux et donc d'un besoin plus important en ceux-ci. Ces études confirment aussi la moins bonne valeur biologique des protéines végétales comparées aux protéines animales.

3.3.3.2. Déficit en acides gras essentiels

Les acides linoléiques et α -linoléniques sont essentiels chez le chien et le chat. Ces deux acides gras sont présents dans les huiles végétales, cependant les ratios oméga 3 / oméga 6 sont très variables d'une huile à l'autre, comme le montre le tableau récapitulatif ci-dessous (tableau 53). Aucune huile végétale ne contient d'EPA ou de DHA dont l'apport est recommandé chez le chien comme le chat. L'acide arachidonique est essentiel pour le chat qui est incapable de le synthétiser contrairement au chien (cf partie 1.2.1). Cet acide est cependant absent des huiles végétales. Il faut donc obligatoirement une complémentation en huile de poisson ou graisse animale pour obtenir un apport suffisant en acide arachidonique et EPA/DHA. Rappelons que les différentes recommandations nutritionnelles s'accordent sur un besoin et un rapport oméga 6/3 compris entre 1 et 6 (Biagi et al., 2004).

% sur matière brute	Acide linoléique (ω6)	Acide α-linolénique (ω3)	Ration ω6/ ω3	EPA-DHA
Huile de poisson	0,5	1,5	0,15	15 à 30
Huile de soja	55,7	7,6	7,3	< 1
Huile de tournesol	66,9	0,1	669	< 1
Huile de colza	22,2	8,9	2,5	< 1
Huile de noix	59,4	4,6	4	< 1

Tableau 53 : Composition de différentes huiles en acides gras essentiels (d'après Thatcher et al., 2010)

Diverses études se sont intéressées aux autres sources possibles d'acide arachidonique, d'EPA et de DHA, et ont mis en évidence la teneur importante en ces acides gras dans certaines algues. Ainsi, l'algue verte *Parietochloris incisa* est considérée comme la plante la plus riche en acide arachidonique, qui représente 77 % des acides gras de la plante. De même, d'autres espèces d'algues telles que *Palmaria palmata* et *Sargassum natans*, sont respectivement riches en EPA et DHA (Shanab et al., 2018). Ces algues peuvent représenter une alternative à l'huile de poisson ou à la graisse animale pour combler les besoins en acides gras essentiels du chien et du chat.

Ainsi, les régimes végétariens ou végétariens pour les carnivores domestiques sont susceptibles de présenter des carences en différents acides gras essentiels. En effet, une étude réalisée en 2004 sur deux régimes secs végétariens pour chats a mis en évidence dans les deux régimes un déficit en acide arachidonique (Gray et al., 2004). De même, une étude réalisée sur 86 régimes végétariens pour chiens et 8 régimes végétariens pour chats a mis en évidence de manière récurrente des déficits en acide arachidonique (Kienzle, Engelhard, 2001).

Les acides gras essentiels jouent un rôle crucial dans le maintien de l'intégrité de la barrière cutanée. De ce fait, une carence entraîne chez le chat et le chien un poil piqué, une modification du film lipidique de la peau prédisposant aux pyodermites et des retards de cicatrisation. Si la carence persiste, de l'alopécie, de l'œdème, ainsi que des dermatites peuvent se développer en particulier, au niveau du canal auriculaire et de l'interdigitalité. Un déficit en acides gras essentiels affecte aussi les fonctions de reproduction (anomalie néonatale et avortement) et entraîne des retards de croissance (Case, 2011 ; National Research Council, 2006).

3.3.3.3. Apports en glucides importants par rapport aux apports protéiques

Pour combler les besoins en acides aminés des carnivores domestiques, il est nécessaire d'apporter des quantités importantes de céréales et de légumineuses par ailleurs riches en glucides. Si les glucides ne sont pas toxiques pour le chien et le chat aux doses habituellement utilisées dans les régimes commerciaux, ils apportent de l'énergie en quantité importante. Pour éviter une augmentation trop importante de l'énergie de la ration due à la prépondérance des glucides, l'apport en matière grasse est le plus souvent limité. D'autre part, l'apport important en végétaux entraîne l'augmentation du taux de cellulose brute, qui peut impacter et diminuer la digestion des autres macronutriments, et en particulier des protéines (Kienzle, Dobenecker, et al., 2001).

Cet apport important en glucide limite l'utilisation de ce type de régime pour les chiens et chats qui ont besoin d'un régime plus riche en protéine et avec un rapport protido-calorique élevé : animaux en surpoids, en croissance ou en phase de reproduction/gestation.

3.3.3.4. Déficit en minéraux

Les minéraux qui posent le plus de problème lors de l'élaboration d'un régime végétarien ou végan pour les carnivores domestiques sont le calcium et le phosphore, dont les besoins sont élevés chez le chien comme chez le chat.

Le tableau 54 compare la quantité de minéraux présents dans 100 g de différentes matières premières végétales ou animales et les apports recommandés en grammes pour un chien de poids moyen (10 kg) et un chat de poids moyen (4 kg).

Minéraux sur matière brute en g/100 g d'aliment	Farine complète de blé	Maïs en grain	Riz brun en grain	Pois	Farine dégraissée de soja	Viande de bœuf	Protéine animale transformée	Apport minimums recommandés (g)	
								CN de 10kg	CT de 4kg
Calcium	0,03	0,01	0,03	0,03	0,24	0,49	8,31	1,30	0,30
Phosphore	0,00	0,23	0,26	0,11	0,67	0,32	3,94	1,00	0,25
Magnésium	0,14	0,11	0,14	0,03	0,29	0,02	0,25	0,19	0,04
Potassium	0,41	0,30	0,27	0,24	2,38	0,28	0,46	1,40	0,52
Sodium	0,010	0,03	0,00	0,01	0,02	0,06	0,75	0,26	0,07
Chlorure	-	0,04	-	-	-	-	0,66	0,40	0,09
Cuivre	0,04	0,03	0,03	0,02	0,41	0,006	0,19	0,002	0,0008
Fer	0,39	0,29	0,18	0,15	0,92	0,57	6,55	0,01	0,08
Manganèse	0,38	0,06	0,37	0,04	0,30	0,00	0,23	0,002	0,0008
Sélénium	0,007	0,001	-	0,0002	0,17	0,002	0,004	0,0001	0,008
Zinc	0,29	0,21	0,20	0,12	0,25	0,36	1,06	0,02	-

Tableau 54 : Comparaison des apports en minéraux de différents ingrédients utilisés en alimentation animale et comparaison avec les recommandations pour le chien et le chat (National Research Council, 2006)

Classiquement, les besoins en calcium sont comblés par les os et ceux en phosphore par les produits carnés ou le poisson. Les végétaux doivent, comme le démontre le tableau précédent, être apportés en quantité très importante pour combler les besoins en calcium comparativement à la viande avec os. De même pour l'apport en phosphore, qui est moins important dans la majeure partie des produits végétaux que dans les produits carnés.

Ainsi, différentes études ont démontré des déséquilibres au niveau des minéraux : l'étude de Semp sur 6 régimes végétans pour chat ou pour chien a démontré que 3 d'entre eux étaient carencés en potassium et un en sodium (Semp, 2014). Une étude réalisée sur 2 régimes industriels végétans pour chat a démontré que l'un d'entre eux présentait un déficit en calcium et phosphore (Gray et al., 2004). Une dernière étude, réalisée sur 86 régimes végétariens pour chien et 8 régimes végétariens pour chat, a mis en évidence de nombreux déficits en calcium et phosphore avec des ratios Ca/P déséquilibrés, auxquels s'ajoutent fréquemment des déficits en sodium (Kienzle, Engelhard, 2001).

3.3.3.4.1. Carences en calcium et phosphore

Les quantités de calcium et de phosphore nécessaire pour le chien et le chat sont élevés, d'autant plus dans les phases de croissance. Or, les végétaux sont beaucoup moins riches en ces minéraux que les produits carnés. De plus, la biodisponibilité du calcium et du phosphore varient selon les sources et il a été démontré qu'elle est moins importante lorsque ces deux minéraux sont issus des végétaux. En effet, les céréales et les légumineuses contiennent des phytates qui sont riches en phosphore et qui constituent la majeure partie des apports en phosphore des végétaux. Cependant, le phosphore phytique n'est

biodisponible qu'à une hauteur de 30 %. De plus, les phytates peuvent se lier au calcium et en empêcher l'absorption et donc l'utilisation, ils peuvent aussi interagir et diminuer l'absorption du zinc, du fer et du magnésium (Erdman, 1979 ; Case, 2011).

Les déséquilibres phospho-calciques ont de nombreuses répercussions : hyperparathyroïdisme secondaire, troubles ostéo-articulaires (ostéochondrose, ostéomalacie, ostéoporose...), dégénérescence de la moelle épinière, ataxie... Les conséquences de ces déséquilibres ont été détaillées dans la partie 3.2.3.1.1.

Les apports en calcium et en phosphore doivent donc être apportés par des compléments minéraux, car les apports végétaux sont insuffisants pour permettre de couvrir les besoins du chien et du chat.

3.3.3.4.2. Autres carences en minéraux

Le fer peut être présent sous différentes formes et notamment lié à l'hème de l'hémoglobine ou non. Ainsi, le fer présent dans les végétaux et donc non lié à un hème est moins bien absorbé que celui lié à un hème retrouvé dans les produits carnés (Case, 2011). Les risques de carence en fer sont donc accrus en cas d'apport uniquement végétal. Les carences en fer dues à un défaut d'apports alimentaires sont assez rares et peuvent dans les cas extrêmes provoquer des anémies dites ferriprives, de la léthargie, de la diarrhée et de l'hématochézie (Naigamwalla et al., 2012 ; Semp, 2014).

Les sources de cuivre les plus importantes sont d'origine animale. On retrouve cependant du cuivre dans de nombreux végétaux mais en quantité moindre. Le cuivre fait donc partie des minéraux susceptibles d'être déficitaires dans un régime végétarien/végan pour chien ou chat. Une carence en cuivre peut être à l'origine d'anémies, de retards de croissance, de dépigmentations du pelage, de lésions osseuses, de désordres neuromusculaires et de troubles de la reproduction (Thatcher et al., 2010).

Le zinc est présent dans les sources végétales comme animales. Cependant, la présence de phytates dans de nombreux végétaux interagit avec le zinc et en empêche l'assimilation (Erdman, 1979). Une carence en zinc provoque des problèmes de reproduction, une kératinisation et des ulcérations de la peau et de l'alopecie, de l'anorexie et des retards de croissance, des vomissements et des conjonctivites (Thatcher et al., 2010).

3.3.3.5. Déficit en vitamines

Différents types de vitamines d'origine exclusivement animale sont indispensables pour le chien et pour le chat. Ils ont tous les deux besoin d'apports en vitamines D3 et B12 et pour le chat d'apports spécifiques en vitamine A.

Divers déficits en vitamines ont été mis en évidence par plusieurs études. En 2001, une étude portant sur 86 régimes végétariens pour chien et 8 pour chat a mis en évidence des carences en vitamine A et B12 (Kienzle, Engelhard, 2001). En 2004, la comparaison de deux régimes végans pour chat a mis en évidence des déficits en plusieurs vitamines B et en vitamine A dans un des deux régimes (Gray et al., 2004).

3.3.3.5.1. Carences en vitamine D3 chez le chien et le chat

Comme décrit précédemment (partie 1.2.7.1.2), la vitamine D est disponible sous deux formes : la forme animale ou vitamine D3 (cholécalférol), et la forme végétarienne ou vitamine D2 (ergocalciférol). La biodisponibilité de la vitamine D3 chez le chien et le chat est nettement supérieure à celle de la vitamine D2, ce qui peut entraîner dans les régimes végétariens ou végans une carence en vitamine D. De par l'implication de la vitamine D dans l'homéostasie phospho-calcique, les carences se manifestent chez l'adulte par de l'ostéomalacie (décalcification osseuse) et entraînent une augmentation du risque de fracture en particulier au niveau des os longs. Chez le chat, suite à des carences en vitamine D, il a été observé une réticence au déplacement puis une paralysie progressive des postérieurs pouvant mener à la tétraplégie (Hazewinkel et al., 2002 ; Case, 2011). Ces troubles neurologiques sont dus à une dégénérescence de la moelle épinière provoquée par un remodelage des vertèbres cervicales et à une croissance anormale. Chez le jeune, les carences se manifestent par du rachitisme, c'est-à-dire par une déformation des os due à un dépôt insuffisant en calcium et phosphore. Ce sont les os longs qui sont le plus touchés : ils se déforment et se courbent au niveau des métaphyses sous le poids du corps et un épaississement des épiphyses a lieu (Hazewinkel, 1989).

3.3.3.5.2. Carences en vitamine B12

La vitamine B12 est présente uniquement dans les produits d'origine animale. Il faut donc impérativement une complémentation synthétique dans les régimes végétariens et végans. Les carences en cobalamine sont assez rares et dues à un régime carencé utilisé sur le long terme. Ces carences entraînent une anémie non régénérative, car la cobalamine est impliquée dans la formation de la méthionine, essentielle à la formation des globules rouges (Engelking, 2015). De plus, une hypocobalémie engendre l'augmentation d'acide méthyl

malonique urinaire et d'homocystéine, qui sont habituellement consommés dans des réactions enzymatiques impliquant la cobalamine (Lutz et al., 2013). En cas de carences sévères et persistantes, l'activité des enzymes digestives jéjunales peut se détériorer, ce qui entraîne des troubles digestifs (Engelking, 2015).

3.3.3.5.3. Carences en vitamine A

La vitamine A peut être synthétisée par la plupart des mammifères à partir des β -carotènes. Ce n'est pas le cas du chat, chez qui un apport direct en vitamine A est obligatoire. Or, la vitamine A n'est présente que dans les produits d'origine animale.

Les carences en vitamine A provoquent chez le jeune des déformations osseuses et des troubles neurologiques. La sténose des foramens neuronaux due aux malformations peut entraîner un pincement des nerfs crâniens et rachidiens. Si la déficience persiste, des déformations des os longs apparaissent (os plus courts et plus larges), ainsi que des déformations des os du crâne. Chez l'adulte, la carence en vitamine A provoque des troubles de la reproduction, de la vision, et perturbe le fonctionnement de l'épithélium, avec pour signes cliniques associés : de l'anorexie, des conjonctivites, de la xérophtalmie, une opacification de la cornée et des ulcérations et des troubles dermatologiques (Hayes, 1971 ; Gershoff et al., 1957).

3.3.3.6. *Est-il possible de réaliser une ration ménagère végétarienne ou végane ?*

Au vu des nombreux additifs qui sont nécessaires à l'élaboration d'un régime végan ou végétarien, est-il possible de réaliser une ration ménagère végétarienne ou végétalienne pour les carnivores domestiques ?

Chez le chien, la ration ménagère végétarienne est envisageable si des apports en œufs et produits laitiers sont réalisés. En ajoutant des œufs et des produits laitiers, les apports protéiques d'un chien à l'entretien peuvent être comblés. Comme toute ration ménagère, il faudra néanmoins apporter un complément phosphocalcique pour éviter toute carence. Cependant, en cas de surpoids ou de chien très peu actif, ce type de ration ne permettra pas d'obtenir un ratio protido-calorique suffisant pour couvrir les besoins protéiques sans apporter trop de calories. De même, pour les cas de lactation, reproduction ou encore croissance, la ration ménagère végétarienne n'est pas envisageable, compte tenu des apports protéiques mais aussi en minéraux et vitamines qui se doivent d'être plus importants lors de ces stades physiologiques.

Chez le chat, la ration ménagère végétarienne est difficilement réalisable, compte tenu des besoins bien plus élevés du chat en protéines, en acides aminés essentiels et en acides gras essentiels que ceux du chien. S’y ajoutent des besoins vitaminiques plus importants que chez le chien (vitamine A notamment). Il est envisageable de réaliser une ration ménagère végétarienne pour un chat entier avec une activité importante (chat ayant accès à l’extérieur). Pour tous les autres cas de figures, l’équilibre entre protéines et calories est inatteignable avec l’utilisation de seuls produits végétaux, d’œufs et de produits laitiers. En effet, pour diminuer l’apport calorique tout en conservant un apport protéique important il faut diminuer soit la quantité de glucides, soit la quantité de matières grasses. Or, il est impossible de diminuer les glucides sans diminuer l’apport protéique, puisque les végétaux riches en glucides sont la principale source de protéines des rations végétariennes, et une diminution de l’apport de matières grasses entraîne un risque de carence en acides gras essentiels.

Les rations véganes, quant à elles, sont impossibles à réaliser sans des complémentations majeures en acides aminés essentiels, acides gras essentiels, vitamines et minéraux. L’obtention d’une formulation équilibrée et répondant au besoin du chien et du chat pour une ration ménagère est à l’heure actuelle utopique. De plus en plus de compléments minéraux et vitaminiques végétariens ou végans apparaissent sur le marché.

Il est désormais possible de trouver des compléments pour chien et chat adultes végans. Ils sont accompagnés par des exemples de recettes fournis par le fabricant et décrites comme équilibrées.



Composition de « Vegedog »

Phosphate dicalcique, citrate de calcium, carbonate de calcium, kelp Seco Bio, choline bitartrate, L-méthionine, taurine, D-alpha-tocophérol, oxyde de zinc, fumarate ferreux, riboflavine, AAC de cuivre, levure de sélénium, vitamine B12, palmitate de vitamine A, ergocalciférol



Composition de « Vegecat »

Kelp carbonaté, phosphate monocalcique, DL-méthionine, taurine, chlorure de choline, vitamine E (acétate de dl-alphatocophéryle), oxyde de zinc, sulfate ferreux, palmitate de vitamine A, sulfate de cuivre, vitamine D2 (ergocalciférol), sélénite de sodium, supplément en vitamine B12

Ces compléments sont essentiellement composés de calcium sous différentes formes, de choline, d'acides aminés essentiels souvent déficitaires dans les végétaux (méthionine, taurine), de minéraux et de vitamines. On y retrouve aussi dukelp, une algue riche en calcium, en cuivre, fer, magnésium, iode et sodium. Elle contient aussi de la vitamine B9, B2 et de la vitamine K.

Voici un exemple de recette pour un chien de 20 kg présentée par le fabricant :

Recette pour 3 jours de repas pour un chien de 20 kg (d'après Compassion Circle, 2017)	
Composition analytique : protéine 22%, lipides 13%, 3574 kcal d'énergie métabolisable	
650 g d'avoine crue	
735 g de tofu extra-ferme	
198 g de concentré de tomate	
1 cuillère à soupe de levure en poudre	
22 mL d'huile de chanvre	
22 g de VegeDog™	
1,4 g de sel ou 10 g de sauce soja	
Optionnel : assaisonner avec du persil, du basilic, de la spiruline et/ou 225 g de légumes cuits à la vapeur ou hachés	
Cuire l'avoine et ajouter les autres ingrédients. Ajouter le tofu dans l'avoine cuite pour le réchauffer.	

Le tableau 55 compare les valeurs nutritionnelles de cette recette avec les recommandations du NRC, de la FEDIAF et de l'AAFCO. Les valeurs nutritionnelles des différents ingrédients ont été obtenues sur la base de données de l'ANSES (ANSES, 2017).

Nutriments	Unité/ Mcal d'EM	Recette vegan	Apports recommandés		
			NRC	AAFCO	FEDIAF
Protéines	g	57	20	45	52,10
Matières grasses	g	30	13,8	13,75	13,75
Glucides	g	122	-	-	-
Cellulose brute	g	26	-	-	-
Calcium	g	4,9	1,0	1,25	1,45
Phosphore	g	1,9	0,75	1	1,16
Rapport Ca/P		2,6	-	1-2	1-2
Potassium	g	1,9	1,0	1,5	1,45
Sodium	g	0,98	0,2	0,2	0,25
Chlorure	g	0,13	0,3	0,3	0,38
Magnésium	g	0,66	0,15	0,15	0,20

Tableau 55 : Comparaison des valeurs nutritionnelles d'une recette végétane et adéquation avec les recommandations nutritionnelles de la FEDIAF, le NRC et l'AAFCO chez le chien

La recette végétane pour chien proposée par le vendeur de complément alimentaire montre une teneur en protéine suffisante selon les recommandations. Cependant, la totalité des protéines utilisées sont des protéines d'origine animales dont le profil en acides aminés n'est pas celui dont a besoin le chien ou le chat. Malgré l'apport en méthionine et taurine de du complément végédog, il est peu probable que les apports en acides aminés soient suffisants pour combler les besoins du chien. De plus, les recommandations nutritionnelles sont émises pour des protéines d'origine animale de haute qualité pour la NRC et de qualité intermédiaires pour la AAFCO et FEDIAF et ne sont donc pas adaptées pour des protéines uniquement d'origine végétale. La ration végétane, tout comme certaines croquettes véganes, est très riche en cellulose brute ce qui peut accélérer le transit et diminuer la digestibilité des autres ingrédients. L'équilibre phospho-calcique de la ration n'est pas respectée, les apports en phosphore sont trop faibles comparés à ceux en calcium. Les apports en chlorure sont aussi trop faibles d'après les recommandations.

Les mêmes types de compléments existent pour chiots et chatons et pour les femelles en gestation et lactation. Ils sont accompagnés du même type de recette que celle décrite ci-dessus. Ces recettes laissent penser au propriétaire que la réalisation d'une recette végétan est facilement réalisable à l'aide d'un simple complément alimentaire. Cependant, comme le montre notre exemple, les recettes proposées ne sont pas équilibrées et entraîneront sur le moyen ou long terme des carences.



Composition de «Vegekit»

Kelp séché (*Ascophyllum nodosum*), carbonate de calcium, bisulfate de sodium/sodium, sulfate d'hydrogène NaHSO₄, phosphate monocalcique, monohydrate, DL-méthionine, taurine, chlorure de choline, DL-alphatocopheryl acétate poudre, zinc oxide (zinc 80 %), ferreux, sulfate heptahydraté, vitamine A, palmitate, sulfate de cuivre, ergocalciferol, selenium yeast 2000, vitamine B12 (méthylcobalamine)

Le développement de ce type de produit peut laisser supposer que la réalisation d'une ration ménagère végétan ou végétarienne pour chien et pour chat, quel que soit leur stade physiologique, est possible. Or il est déjà très compliqué de réaliser une ration équilibrée pour des chiens ou des chats adultes, il est donc d'autant plus risqué de tenter de réaliser ce type d'alimentation pour des stades physiologiques encore plus demandeurs. De plus, les conséquences d'un déséquilibre pour les animaux en croissance, en gestation ou en lactations sont plus importantes que chez un adulte.

3.3.3.7. Alcalinisation urinaire et risque d'urolithiase

Les régimes végétariens sont relativement pauvres en acides aminés acidifiants (acides aminés soufrés notamment). Le pH des protéines végétales peut entraîner lors de leur excrétion urinaire une alcalinisation des urines prédisposant à la cristallisation de certaines substances et pouvant aboutir à la formation de calculs urinaires de struvite. Ces calculs peuvent être à l'origine d'obstructions urinaires en particulier chez le chat mâle au diamètre urétral plus faible, et favorisent le développement d'infection urinaire (Knight et al., 2016). Aucune étude ne s'est intéressée à la prévalence des calculs et des infections urinaires chez les chats et chiens nourris avec un régime végétal, cependant il convient d'être conscient des risques et de contrôler régulièrement le pH urinaire des animaux nourris avec un régime végétarien. De plus, la faible valeur biologique des protéines végétales entraîne une augmentation de l'excrétion urinaire d'azote pouvant elle être un facteur favorisant des urolithiases.

Au contraire, les caractéristiques alcalinisantes, le faible taux protéique et la valeur biologique basse des protéines des régimes végétariens permet d'envisager leur utilisation contre le développement des calculs d'urates chez certaines races atteintes d'hyperuricosurie (Dalmatien, Bulldog anglais...). En effet, ce type de régime contient peu de purine (précurseur des urates) et alcalinise les urines, ce qui prévient la formation de ce type de calcul et permet la dissolution de ceux formés. Un régime faible en protéines permet cependant d'obtenir le même résultat (Syme, 2012). Les calculs de cystine étant plus solubles dans des urines alcalines, les régimes végétariens peuvent aussi être utilisés pour la dissolution de ceux-ci (Elliott et al., 2017).

3.3.4. Conclusion

Les régimes végétariens et végétaliens pour chien et pour chat sont de plus en plus courants à l'heure actuelle et leur progression est corrélée à celle de ce type de régime chez l'homme. Néanmoins, de par les différences importantes entre le chat (carnivore strict), le chien (carnivore à tendance omnivore) et l'homme (omnivore), l'équilibre d'un régime végétarien ou végétalien est beaucoup plus difficile à établir pour les carnivores domestiques que pour l'homme. Outre les différences anatomiques, l'organisme humain requiert des apports protéiques et en acides aminés moins importants et plus compatibles avec les apports protéiques d'une alimentation végétale (tableau 56) contrairement aux carnivores domestiques. De même, le nombre de nutriments essentiels d'origine animale est très réduit chez l'homme comparé au chien et surtout au chat.

Le tableau 56 récapitule les différences majeures entre le chien, le chat et l'homme :

	Chien	Chat	Homme
Dentition	10 molaires	4 molaires	12 molaires
Longueur intestinale / longueur du corps	4 à 5	3	5
Appareils enzymatiques	Absence d'amylase salivaire	Absence d'amylase salivaire	Amylase salivaire
Besoins en protéine	3 g/kg	5 g/kg	1 g/kg
Nombre d'acides aminés essentiels (AAE)	10 AAE Idem homme + arginine, histidine	11 AAE Idem homme + arginine, histidine et taurine	8 AAE Tryptophane, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, valine, leucine, iso-leucine
Apports recommandés en arginine	110 mg/kg	190 mg/kg	-
Apports recommandés en aa soufrés	210 mg/kg	84 mg/kg	19 mg/kg
Éléments nutritionnels essentiels d'origine animale	Vitamine B12 Vitamine D3	Taurine Acide arachidonique Vitamine B12 Vitamine D3 Vitamine A	Vitamine B12
Éléments nutritionnels recommandés d'origine animale	EPA/DHA Carnitine Vitamine A	EPA/DHA Carnitine	-
Apports recommandés en calcium	1,6 g/Mcal	1,6 g/Mcal	Homme : 0,29 g/Mcal * Femme : 0,36 g/Mcal**
Apports recommandés en phosphore	1,2 g/Mcal	1,2 g/Mcal	Homme : 0,27 g/Mcal *** Femme : 0,33 g/Mcal ***

Tableau 56 : Comparaison des éléments du métabolisme, de l'anatomie et des apports recommandés en nutriments chez l'homme, le chien et le chat pouvant poser problème dans l'équilibre d'une ration végétarienne ou végane (d'après ANSES, 2016 ; National Research Council, 2006 ; AFSSA, 2007 ; Marshall et al., 1993)

* Avec un besoin calorique journalier moyen pour un homme adulte de 2600 kcal et un besoin nutritionnel moyen en calcium estimé à 750 mg/j (ANSES, 2016)

** Avec un besoin calorique journalier moyen pour une femme adulte de 2100 kcal et un besoin nutritionnel moyenne en calcium estimé à 750 mg/j (ANSES, 2016)

*** Avec un apport satisfaisant en phosphore estimé à 700 mg/j (ANSES, 2016)

Ces différences métaboliques et anatomiques expliquent qu'une alimentation équilibrée végétarienne ou végétalienne soit réalisable pour l'homme (à condition d'apporter une complémentation en vitamine B12), alors que chez les carnivores domestiques, l'équilibre de ce type d'alimentation est difficile à réaliser.

En effet, seule la formulation d'une ration ménagère végétarienne pour les chiens adultes est envisageable. Les rations ménagères végétaliennes pour chien et végétariennes pour le chat demandent trop de complémentation synthétique et entraînent trop de risques de déséquilibres pour être réalisées. Concernant les aliments industriels, la formulation d'un régime équilibré est envisageable mais nécessite énormément d'apport synthétique et, là encore, les risques de déséquilibres et de carences sont très importants. De nombreuses études ont mis en évidence la fréquence importante de déséquilibres dans ces types de régimes. De plus, les carences chez le chien ou le chat adulte peuvent mettre plusieurs mois à entraîner des signes cliniques qui ne sont pas, la plupart du temps, spécifiques. La détection des carences liées à ce type de régime est donc le plus souvent tardive. Le régime végétarien/végétalien est d'autant plus déconseillé aux stades physiologiques et aux individus souffrant de pathologies nécessitant des apports en protéines ou en minéraux supérieurs à celui d'un chien adulte ou d'un chat adulte à l'entretien (croissance, lactation, gestation, surpoids...). De plus, l'inadéquation entre le régime végétarien et le métabolisme des carnivores domestiques risque de favoriser sur le long terme l'apparition de maladie métabolique.

4. Origines sociétales des régimes non conventionnels

4.1. Répartition de l'utilisation des différents régimes alimentaires

Ces dernières années les régimes alternatifs ont fleuri que ce soit chez l'homme ou chez les animaux de compagnie.

Le marché des croquettes sans céréales est actuellement en plein essor : en 2011 ce type de croquette engrangeait aux États-Unis, 0,9 millions de dollars de recettes contre 3 millions de dollars en 2016. Les recettes ont triplé en 5 ans (Statista, 2018). En 2015, les croquettes sans céréales représentaient 30 % du marché américain. En 2015, au Royaume-Uni le marché des croquettes sans céréales représentait 15 % du marché. En comparaison en France en 2016, les croquettes sans céréales ne représentaient que 1 % du marché (GFK, 2016). Les croquettes sans céréales connaissent une expansion marquée ces dernières années, notamment dans les pays anglo-saxons et de l'Europe du Nord. Cette augmentation de popularité concerne aussi toutes les croquettes qui se revendiquent « naturelles » (c'est-à-dire sans ingrédient transformé), en effet en France entre 2015 et 2016 ce type de croquettes a connu une augmentation de part de marché de 34 %. Cet intérêt pour les produits plus naturels, bio, sans gluten/céréale, rejoint celui observés chez l'homme. En effet, en France entre 2016 et 2017, le marché du bio est passé de 7,15 à 8 milliards d'euros (Agence pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique, 2018).

L'alimentation crue connaît elle aussi une expansion ces dernières années. Le nombre de chiens et de chats nourris avec une alimentation crue est difficile à estimer étant donné que la majeure partie des adeptes de ce type de régime confectionne leur ration à la maison et ne se tourne pas vers des aliments déjà préparés. Entre 2012 et 2016, la vente de produits crus pour animaux de compagnie est passée de 117 à 393 millions de dollars aux États-Unis. L'alimentation BARF connaît une expansion encore plus importante que les croquettes sans céréales. Ainsi entre 2012 et 2014 la part de marché de la viande crue congelée pour chat et chien a augmenté de 74 % contre 64 % pour les croquettes sans céréales (Wall, 2017).

Le marché du végétarisme/véganisme est en pleine expansion, il reste cependant un phénomène beaucoup plus récent que l'alimentation BARF ou sans céréales. Le manque de recul sur ce nouveau type d'alimentation ne nous permet pas d'avoir de chiffres concernant les ventes de ce segment du marché des aliments industriels. Cependant, le nombre de plus en plus important de marques développant ce type de régime laisse supposer un marché en plein essor.

Ces différents types d'alimentation restent cependant minoritaires comparés au segment de l'alimentation industrielle classique qui représente l'essentiel des parts de marché et la majorité des propriétaires continuent de nourrir leurs animaux de compagnie avec une alimentation plus classique.

4.2. Analogie avec les tendances alimentaires humaines

Depuis plusieurs décennies, de nombreux régimes alimentaires apparaissent et disparaissent au gré des modes. Ainsi en 2017, 15 % de la population française pratiquerait au moins un de ces régimes alimentaires : végétarien, sans gluten, végan, crudivore, chrono nutrition, paléolithique, flexitarien. Les nouvelles tendances nutritionnelles qui sont apparues ces dernières années chez les animaux domestiques sont le reflet de ces nouveaux régimes de plus en plus plébiscités par l'homme.

4.2.1. Régime « paléolithique » et analogie avec le régime BARF

Le régime de type paléolithique est un régime basé sur l'idée que notre corps n'est pas adapté à l'alimentation actuelle et que notre génétique est conçue pour gérer le régime alimentaire qu'avaient nos ancêtres du paléolithique vivant il y a plus de 10 000 ans. Cette idée est exposée par le docteur S. Boyd Eaton, anthropologue médical dans les années 80. Cet anthropologue émet l'hypothèse que l'alimentation de nos ancêtres est l'alimentation idéale, la fréquence des mutations génétiques spontanées étant de l'ordre de 0,5 % par millions d'année, les différences génétiques entre nos ancêtres du paléolithique et nous sont faibles. Ce régime repose sur un apport protéique plus important que celui recommandé à l'heure actuelle : 25 à 29 % de protéines contre 15 à 17 % dans un régime plus classique avec une majorité de protéines d'origine végétale. Un ratio oméga 6/3 dix fois plus important que celui d'un régime classique est recommandé avec une quantité de glucides diminuée, sans apport de lactose et moins d'apport de saccharose. Ce type de régime exclut totalement les céréales, les légumes secs, les laitages, le sucre et le sel qui n'existaient pas au paléolithique et plus généralement tous les produits transformés. La cuisson doit être elle aussi réduite à son minimum. Tout comme pour le régime BARF chez le chien, de nombreux médias, chefs cuisiniers lui prêtent de grandes vertus : traitement du syndrome des ovaires polykystiques, traitement de l'autisme, de l'obésité, du diabète...

Les recherches scientifiques, tout comme pour le régime BARF, sont limitées du fait de la nouveauté de ce type de régime. Ainsi des études ont démontré qu'un régime paléolithique, chez des patients atteints de cardiopathie et d'altération du métabolisme glucidique, permettait une diminution du tour de taille et une amélioration de la sensibilité

au glucose comparé au régime témoin. Des études concernant l'influence de ce type d'alimentation chez des patients diabétiques ont mis en évidence un meilleur contrôle de la glycémie, une perte de poids plus importante, un profil lipidique amélioré et une pression diastolique stabilisée comparé à des patients recevant un régime conçu spécialement pour le diabète. Sur des patients souffrant du syndrome métabolique, le régime paléo améliore les problèmes de pression artérielle et la perte de poids. Sur des patients obèses il permet une perte de poids plus importante que d'autres régimes sur le court terme (6 mois) mais pas sur le moyen terme (2 ans). Chez des personnes saines, ce type de régime n'a pas plus d'influence sur la glycémie ou la réponse insulinémique que d'autres régimes (Pitt, 2016). Les problèmes que peuvent entraîner le régime paléolithique sont des carences importantes en calcium (ainsi la majorité des régimes paléolithiques ne subviennent qu'à 50 % des apports recommandés en calcium) ce qui peut entraîner de l'ostéoporose. Il semble y avoir des avantages à ce type de régime, cependant les études réalisées le sont le plus souvent sur un faible nombre d'individus et sur des durées restreintes. Dans tous les cas, ce type de régime peut être intéressant pour la prise en charge de pathologies de type syndrome métabolique mais la liste des bienfaits réalisée par ses partisans est le plus souvent très surestimée (Pitt, 2016).

Le régime paléo serait pratiqué par environ 4 % de la population française selon un sondage réalisé en 2017, 62 % d'entre eux le pratiquent néanmoins depuis moins de 6 mois (Ferberck et al., 2017).

Le régime paléolithique connaît ses dernières années un certain essor même si sa pratique reste encore assez marginale. Il en est de même pour le régime BARF chez les carnivores domestiques. Dans les deux cas un retour à une alimentation plus proche des ancêtres et un refus de tous les produits industriels sont promus.

4.2.2. Régime sans gluten

Le régime sans gluten est devenu un argument marketing depuis quelques années tout comme les croquettes sans céréales chez les carnivores domestiques. Les régimes sans gluten sont indispensables à la gestion de la maladie cœliaque, l'intolérance au gluten et l'allergie au blé. Cependant, seule une partie de la population humaine est touchée (1 % pour la maladie cœliaque) par ce type de pathologie et cela n'explique pas l'engouement important pour les produits sans gluten. Ainsi en France, les aliments sans gluten pesaient 35 millions d'euros en 2013 contre 158 millions en 2016 avec une progression annuelle d'environ 40 %. Parmi les consommateurs d'aliments sans gluten, un peu moins de la moitié adopte ce régime uniquement par effet de mode et n'est pas atteint d'une maladie nécessitant ce type de régime (Ziegler, 2016).

En 2017, 4 % de la population française pratiquerait ce type de régime selon un sondage réalisé en 2017 (Ferbeck et al., 2017).

4.2.3. Régime végétarien/végan

En 2017, 5 % de la population française se déclarait végétarienne et 4 % végane. Un peu moins de la moitié des végétariens le sont depuis moins de 6 mois (Ferbeck et al., 2017). Le véganisme est une pratique très récente et devenue une tendance ces dernières années comme le montre le nombre important de pratiquants qui ne sont passés à ce type de régime que depuis quelques mois. Au contraire le végétarisme est une pratique beaucoup plus ancienne et environ 1/3 des végétariens le sont depuis plus de 5 ans.

Le refus de toute alimentation carnée et de l'exploitation animale s'est étendue à l'alimentation des carnivores domestiques. En effet, les propriétaires de chats et de chiens végétariens ou végétariens sont soumis à un dilemme, nourrir leurs animaux carnivores avec de la viande qu'ils refusent de consommer pour eux-mêmes, ou les nourrir avec des produits végétariens qui ne remplissent pas forcément leurs besoins nutritionnels.

4.3. Raisons poussant les propriétaires à choisir ces modes d'alimentations alternatifs

4.3.1. Régime BARF : motivations des propriétaires

Les motivations poussant les propriétaires de chats et de chiens à se tourner vers l'alimentation BARF ne sont pas forcément les mêmes. Ainsi les raisons principales poussant les propriétaires de chiens au choix de ce genre d'alimentation est l'idée que le BARF est un régime plus sain pour leurs animaux et plus « naturel ». Les propriétaires de chats évoquent en première raison la volonté d'éviter les produits transformés dans leur propre alimentation mais aussi dans celle de leur chat (Morgan et al., 2017).

Ces propriétaires sont globalement plus méfiants envers les régimes industriels et notamment les ingrédients utilisés. Pour réaliser leur régime, ils se sont majoritairement informés sur internet (20 %) ou dans des livres (14 %), seuls 8 % se sont informés auprès de leur vétérinaire. Paradoxalement, 58 % des propriétaires de chats sont passés au régime BARF sur les conseils d'un vétérinaire qui n'était pas le leur (Morgan et al., 2017).

4.3.2. Régime végétarien et végétan pour les carnivores domestiques : le dilemme des propriétaires végétariens de carnivores domestiques

La quasi-totalité des régimes végétariens ou végétan pour animaux de compagnie sont distribués par des propriétaires ayant eux-mêmes adoptés ce mode de vie. Les deux principales raisons du choix de ce type d'alimentation sont des raisons éthiques (refus de la souffrance animale et protection de l'environnement) et des raisons de santé (régime considéré comme plus sain). Les végétariens/végans sont face à un dilemme: choisir un régime adapté à leurs animaux de compagnies mais entraîner la mort et l'exploitation d'autres animaux ou choisir un régime végétarien/végan pour leur chien et leur chat au risque de leur causer des problèmes de santé.

Les végétariens et végétans possèdent plus d'animaux de compagnie comparés à la moyenne nationale aux États-Unis : 72 % des végétariens possèdent au moins un chat ou un chien contre 56 % des non végétariens. En 2013, un quart d'entre eux nourrissaient leurs carnivores domestiques avec des produits contenant moins d'un quart de protéines animales. Les végétariens ayant choisi ce mode de vie pour des raisons de santé sont moins sujets au dilemme concernant l'alimentation de leur chien ou leur chat et leur donnent plus facilement des produits contenant des taux de protéines animales classiques (Rothgerber, 2013). De même, les végétans ont plus tendance à se diriger vers une alimentation sans aucun produit animal que les végétariens. Cette distinction entre l'attitude des propriétaires végétariens et végétans s'explique par une perception différente des besoins physiologiques de leurs animaux. Ainsi, les végétans pensent majoritairement que les carnivores domestiques ont des besoins moins importants en protéines animales que les végétariens, ils sont même plus sujets à penser que les régimes végétans/végétariens sont plus sains que les régimes carnés pour leurs animaux de compagnie (Rothgerber, 2014).

Une étude plus ancienne datant de 2006 avait tiré les mêmes conclusions, 88 % des propriétaires ayant choisi un régime végétarien pour leur chat affirmaient que cette alimentation était bénéfique pour leur santé. Ils pensent que ce type de régime permet d'éviter les substances nocives, diminue les risques de cancer et permet une bonne santé du pelage (Wakefield et al., 2006).

Des différences entre les propriétaires de chiens et de chats ont pu être constatées. Ainsi les propriétaires végétariens/ végétans de chiens sont plus sujets à la culpabilité s'ils les nourrissent avec des aliments contenant des protéines animales. Cette plus grande culpabilité repose sur le fait que les propriétaires pensent en grande majorité que les protéines d'origine animale sont facultatives pour le chien alors que le chat a un besoin indispensable de protéines animales pour sa bonne santé (Rothgerber, 2014).

4.3.3. Méfiance envers les vétérinaires dans le domaine de la nutrition

Le choix de ces différents régimes alimentaires se fait le plus souvent sans concertation avec leur vétérinaire. En effet, le vétérinaire est rarement l'interlocuteur de choix dans la prise en charge des questions de nutrition. Ainsi des sondages ont mis en évidence que la question de la nutrition n'était pas abordée régulièrement par les vétérinaires lors de la consultation (Morgan et al., 2017). De plus le vétérinaire est peu crédible aux yeux de certains propriétaires en termes de nutrition. En effet, les éleveurs ayant choisi une alimentation ménagère (majoritairement crue) sont 8,6 fois plus susceptibles de ne pas faire confiance à leur vétérinaire comme source d'information concernant la nutrition. Et seul 9 % des propriétaires distribuant une alimentation à base de viande crue ont pris l'avis d'un vétérinaire (généraliste ou nutritionniste) pour l'élaboration de leur ration. De même comparé au groupe témoin nourrissant leurs animaux de compagnie avec des croquettes, 40 % des barbeurs ne font absolument pas confiance à leur vétérinaire en ce qui concerne l'alimentation contre 3 % dans le groupe témoins (Morgan et al., 2017).

Cette absence de confiance dans l'expertise des vétérinaires concernant le domaine de la nutrition s'accompagne d'une méfiance envers les industriels fabricant des croquettes. Ainsi, 80 % des propriétaires nourrissant leurs chats avec un régime végétarien pensent que la nourriture industrielle n'est pas saine comparé à 50 % des propriétaires de chats les nourrissant avec un régime plus classique (Wakefield et al., 2006).

Parmi les propriétaires ayant choisi un régime végétarien pour leur carnivore domestique, près d'un tiers rapporte que leur vétérinaire est contre ce type de régime (Wakefield et al., 2006), pourquoi alors que leur vétérinaire leur déconseille ce type de régime les propriétaires continuent-ils malgré tout de les utiliser ?

4.3.4. Anthropomorphisme, conviction et choix du régime alimentaire

L'anthropomorphisme peut-être défini comme « la tendance à attribuer les sentiments, les passions, les actes et les traits de l'homme à ce qui n'est pas homme » (Larousse, 2018). Dans quelle mesure les propriétaires choisissant des régimes alternatifs pour leurs animaux projettent-ils leurs propres expériences sur leur chat ou leur chien ? En effet, la projection de leurs idées et de leur propre expérience sur leurs animaux peut les pousser à choisir des régimes qui, s'ils ont du sens pour la santé humaine, n'en ont pas forcément pour les carnivores domestiques. Ainsi, les intolérances au gluten chez l'homme et l'engouement pour les régimes sans gluten ont entraîné l'apparition des régimes sans gluten pour animaux chez qui les cas d'intolérances sont pourtant rarissimes. Il se dégage une tendance à projeter l'humain sur l'animal sans tenir compte de sa singularité. Il en va de

même pour les régimes végétariens/végans où la volonté de faire partager ses idéaux à ses animaux de compagnie pousse certains à se convaincre que les chiens et les chats sont des omnivores à tendance carnivore qui comme l'homme peuvent se passer d'aliments carnés. La réussite de ce type de régime sur leur propre santé les pousse à penser que les mêmes bénéfices peuvent être ressentis par des animaux qui pourtant diffèrent en grande partie d'eux sur le plan métabolique et digestif. L'homme cherche toujours une validation de ses convictions et ses choix personnels chez l'autre. L'animal de compagnie représente donc un moyen simple d'accéder à cette validation de soi. En effet, celui-ci est incapable de contredire son maître. Par exemple, les propriétaires végétariens/végans imposent leur propre choix éthique à leurs animaux de compagnie et concluent le plus souvent à une amélioration de la santé de leur compagnon suite à un passage à ce type d'alimentation en ne se basant sur aucun critère objectif. Ainsi on peut constater ce phénomène dans un sondage réalisé par PETA en 1994 (People for the Ethical Treatment of Animals, 1994) et cité régulièrement par des sites promulguant une alimentation végétarienne pour le chien et le chat. Dans cette étude, PETA a réalisé un sondage chez 300 propriétaires de chiens végétariens ou végétans. Les organisateurs du sondage ont ainsi classé les animaux en deux catégories ceux en bonne à excellente santé et les autres en se basant sur les dires des propriétaires. Ils concluent que 76 % des chiens nourris avec une alimentation végétarienne ou végan sont en excellente santé et que ceux nourris avec une alimentation végan sont en meilleure santé que ceux nourris avec une alimentation végétarienne. Pour eux, il est donc tout à fait valable de nourrir un carnivore domestique avec ce type d'alimentation. Aucune comparaison avec des chiens nourris avec une alimentation carnée n'est réalisée, ni aucune étude statistique réelle. L'article se finit par une longue liste de témoignages de propriétaires promulguant les bienfaits de l'alimentation végétarienne sur la santé de leur chien (« Avant d'être végétarien, il avait de la diarrhée tout les deux-trois mois », « Depuis qu'elle est végétarienne, elle a beaucoup plus d'énergie »...). Les conclusions de cette étude sont régulièrement reprises par les propriétaires végétariens / végétans pour valider leur choix alors qu'elles reposent entièrement sur une évaluation subjective. Cette étude est l'illustration de la subjectivité des propriétaires qui ne voient plus les besoins réels de l'animal et projettent leurs convictions sur ceux-ci sans réel recul. Ces comportements peuvent être regroupés derrière le concept de « théorie de l'esprit ». En effet, le propriétaire anticipe les bénéfices sur la santé de son animal, son jugement est donc faussé avant même qu'il ait pu constater l'impact du changement d'alimentation sur son animal. La théorie de l'esprit désigne l'aptitude à imputer des représentations mentales à autrui. Cette capacité est indispensable à la vie en société et permet à l'homme d'interpréter et d'anticiper le comportement de ces pairs (empathie, compréhension sociale...). Cependant, elle entraîne parfois une surinterprétation en particulier chez l'animal qui n'est pas doué des mêmes sentiments et capacité que l'être humain. Il est de plus en plus fréquents de constater ses personifications extrêmes de l'animal : foodtruck distribuant des repas pour chien sans céréales, crèches, institut de beauté pour chien, bijoux...

Les propriétaires ayant déjà des idées préconçues sur les bénéfices de ces nouveaux régimes et compte tenu que les signes de carences alimentaires sont la plupart du temps tardifs et non spécifiques, il est d'autant plus compliqué de convaincre les propriétaires des risques potentiels de ces types d'alimentation. Les choix alimentaires réalisés par les propriétaires sont cependant mus par de bonnes intentions et la plupart du temps par une volonté de mieux nourrir leurs animaux de compagnie. Ces choix même s'ils sont initialement bienveillants peuvent-ils constituer une forme de maltraitance ?

4.3.5. Respect du bien-être animal ?

Les 5 libertés fondamentales des animaux selon l'organisation mondiale de la santé animale sont :

- L'absence de faim, de soif et de malnutrition
- L'absence de peur et de détresse
- L'absence de stress physique et thermique
- L'absence de douleur, de lésions et de maladie
- La possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce

Le choix d'une alimentation végétarienne, BARF ou sans céréales respectent-ils ces différents principes ? Deux points peuvent être sujets à débat : l'absence de malnutrition et la possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce.

La malnutrition est un « état nutritionnel qui s'écarte de la normale définie par les physiologistes et qui est la conséquence d'une alimentation mal équilibrée en quantité et/ou en qualité » (Éditions Larousse, 2018a). Un régime BARF ou sans céréales pouvant être totalement équilibré, il ne sont à priori pas concernés par ce point, mis à part les régimes BARF mal équilibrés qui peuvent avoir des conséquences désastreuses en particulier chez les individus en croissance. Pour ce qui est des régimes végétariens et plus encore végétaliens, la question se pose plus sérieusement. En particulier pour les rations ménagères qui sont impossibles à réaliser sans de nombreux apports synthétiques mis à part les rations végétariennes pour le chien. La réalisation de ces rations ménagères le plus souvent déséquilibrées peut donc être considérée comme allant à l'encontre des règles du bien-être animal. Les régimes industriels végans/végétariens peuvent à priori être équilibrés si les apports synthétiques sont suffisants, cependant la qualité des matières premières peu adaptée pour les carnivores en particulier pour le chat peut être en partie considérée comme de la malnutrition.

« La possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce » : cette règle peut être en faveur des régimes BARF qui sont ceux se rapprochant le plus du comportement attendu des chiens et des chats : manger de la nourriture crue et des os. Le régime végétarien / végan est celui qui peut le plus s'en éloigner et constituer selon les points de vue un non respect du bien-être animal.

4.3.6. Conclusion

Les nouveaux régimes alimentaires alternatifs pour les carnivores domestiques sont le reflet de ceux qui sont apparus chez l'homme. La projection que celui-ci fait de son alimentation sur ses animaux de compagnie peut mener à des pratiques peu compatibles avec la physiologie d'un carnivore. En effet, l'homme en imposant une alimentation qui lui est possible voire bénéfique (végétarienne/végan) à son chien ou son chat, ne prend pas toujours en compte les différences physiologiques entre lui, omnivore, et le chien ou le chat, carnivore. De plus, le vétérinaire n'étant pas pour la majorité des propriétaires une référence en matière de nutrition, les propriétaires se tournant vers les régimes alternatifs demandent rarement conseil à un vétérinaire généraliste ou spécialiste pour vérifier l'équilibre de leur ration.

Conclusion

Ces dernières années, de nouveaux régimes alimentaires ont émergé : croquettes sans céréales, aliment végétarien/végétalien, ration ménagère à base de viande et d'os crus.

Les croquettes sans céréales promettent la plupart du temps un apport en protéines animales plus important, une meilleure digestibilité, un apport moins important en glucides, une alimentation plus naturelle et proche de la nature carnivore du chien et du chat. En moyenne, les apports protéiques sont plus élevés et la quantité de glucides est donc diminuée néanmoins de nombreux contre exemples sont trouvables. De plus, la substitution des céréales par d'autres ingrédients riches en amidon peut provoquer une diminution de digestibilité. Les croquettes sans céréales comparées aux croquettes traditionnelles ne comportent pas d'avantages majeurs mais pas de limites nutritionnelles non plus.

Les régimes à base de viande et d'os crus (BARF ou Whole Prey) sont la plupart du temps réalisés à la maison sans vérification préalable de la ration avec un vétérinaire, ce qui peut entraîner de nombreux déséquilibres. Cependant, il est tout à fait possible d'équilibrer ce type de régime. La principale inquiétude concerne les risques de transmission de zoonoses aux propriétaires et à l'entourage des animaux nourris avec de la viande crue. De plus aucune étude ne s'est penchée sur l'impact sur le long terme et de nombreux paramètres restent encore à étudier.

Les régimes végétariens et végétaliens sont ceux qui sont les plus controversés. En effet, les protéines végétales ne sont pas équivalentes, contrairement à ce que peuvent croire les propriétaires, aux protéines animales. De plus certaines vitamines et acides gras essentiels au chien et au chat ne sont présents que dans les produits d'origine animale. Pour réussir à combler les besoins nutritionnels du chien et du chat avec une alimentation végétale de nombreux additifs synthétiques doivent être ajoutés et leur assimilation et leur digestibilité ne sont pas identiques à celles des matières premières animales. Dans ces conditions l'équilibre de ce type de régime est difficile à atteindre mais possible selon certaines études. Cependant aucune étude à l'heure actuelle n'a évalué l'impact sur le long terme de ce type d'alimentation.

Ces différents régimes sont adoptés par les propriétaires le plus souvent car perçu comme plus sains et plus adaptés à leurs animaux. De plus, les propriétaires projettent très souvent leur conviction alimentaire sur leur chien ou leur chat alors que les besoins nutritionnels de l'homme sont très différents de ceux des carnivores domestiques. Les propriétaires se dirigeant vers des régimes alternatifs accordent le plus souvent peu de crédibilité aux compétences des vétérinaires dans le domaine de la nutrition et le sujet n'est

pas toujours abordé en consultation. Une plus grande communication des vétérinaires et de plus amples informations sur les risques liés à certaines pratiques alimentaires pourraient peut-être permettre d'éviter des gros déséquilibres et des conséquences parfois importantes pour la santé animale mais aussi pour celle de leurs propriétaires.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, **Annabelle MEYNADIER**, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Claire DILGER** intitulée « **Les modes alimentaires humaines appliquées à l'alimentation des carnivores domestiques : origine et acceptabilité** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.


Annabelle MEYNADIER


Fait à Toulouse, le novembre 2018
Docteur Annabelle MEYNADIER
Maître de Conférences
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN



Vu :
Le Président du jury :
Professeur Claude MOULIS

Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université
Paul Sabatier


Monsieur Jean-Pierre VINEL
Le Président de l'Université
par délégation,
La Vice-Présidente de la CPVU


Régine ANDRE-OBRECHT

Mlle Claire DILGER
a été admis(e) sur concours en : 2013
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 04/07/2017
a validé son année d'approfondissement le : 15/11/2018
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

Bibliographie

AFSSA, 2007. *Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations* [en ligne]. S.I. AFSSA. [Consulté le 2 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/content/apport-en-prot%C3%A9ines-consommation-qualit%C3%A9-besoins-et-recommandations-2>.

AFSSA, 2009. *Evaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale* [en ligne]. S.I. AFSSA. [Consulté le 3 août 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/content/%C3%A9valuation-des-risques-li%C3%A9s-%C3%A0-la-pr%C3%A9sence-de-mycotoxines-dans-les-cha%C3%AEnes-alimentaires-1>.

AGENCE POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA PROMOTION DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE, 2018. *Repères chiffrés 2017 du bio en France* [en ligne]. S.I. [Consulté le 21 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/agencebio-dossierdepressechiffres220218_0.pdf.

ALCOCK, Joe, MALEY, Carlo C. et AKTIPIS, C. Athena, 2014. Is eating behavior manipulated by the gastrointestinal microbiota? Evolutionary pressures and potential mechanisms. In : *BioEssays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology*. octobre 2014. Vol. 36, n° 10, p. 940-949.

ALLEN-DURRANCE, Ashley E., 2017. A Quick Reference on Phosphorus. In : *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. mars 2017. Vol. 47, n° 2, p. 257-262.

AMERICAN ANIMAL HOSPITAL ASSOCIATION, 2011. Raw protein diet | AAHA. In : *AAHA. The standard of Veterinary Excellence* [en ligne]. 2011. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.aaha.org/professional/resources/raw_protein_diet.aspx.

AMERICAN VETERINARY MEDICAL ASSOCIATION, 2012. Raw Pet Foods and the AVMA's Policy: FAQ. In : *AVMA. Our passion. Our profession* [en ligne]. 2012. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.avma.org/KB/Resources/FAQs/Pages/Raw-Pet-Foods-and-the-AVMA-Policy-FAQ.aspx>.

ANDERSON, R. S., 1982. Water balance in the dog and cat. In : *Journal of Small Animal Practice*. septembre 1982. Vol. 23, n° 9, p. 588-598.

ANSES, 2010. *Fiche de description de danger microbien transmissible par les aliments / Clostridium perfringens* [en ligne]. S.I. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/MIC2010sa0235Fi.pdf>.

ANSES, 2011. *Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments / Campylobacter jejuni - Campylobacter coli* [en ligne]. S.I. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/MIC2010sa0298Fi.pdf>.

ANSES, 2016. *Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles* [en ligne]. Rapport d'expertise collective. S.I. ANSES. [Consulté le 14 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf>.

- ANSES, 2017. Ciqual - Table de composition nutritionnelle des aliments. In : *Ciqual* [en ligne]. 2017. [Consulté le 26 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://ciqual.anses.fr/>.
- ANSES, 2017. Les Escherichia coli entérohémorragiques (EHEC). In : [en ligne]. 8 août 2017. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/content/les-escherichia-coli-ent%C3%A9roh%C3%A9morragiques-ehec>.
- AOYAGI, S., BAKER, D. H. et WEDEKIND, K. J., 1993. Estimates of copper bioavailability from liver of different animal species and from feed ingredients derived from plants and animals. In : *Poultry Science*. septembre 1993. Vol. 72, n° 9, p. 1746-1755.
- AOYAGI, S., HINEY, K. M. et BAKER, D. H., 1995. Copper bioavailability in pork liver and in various animal by-products as determined by chick bioassay. In : *Journal of Animal Science*. mars 1995. Vol. 73, n° 3, p. 799-804.
- APPLETON, D.J, RAND, J.S, PRIEST, J, SUNVOLD, G.D et VICKERS, J.R, 2004. Dietary carbohydrate source affects glucose concentrations, insulin secretion, and food intake in overweight cats. In : *Nutrition Research*. juin 2004. Vol. 24, n° 6, p. 447-467.
- ARENDRT, Maja, CAIRNS, K. M., BALLARD, J. W. O., SAVOLAINEN, P. et AXELSSON, Erik, 2016. Diet adaptation in dog reflects spread of prehistoric agriculture. In : *Heredity*. 2016. Vol. 117, n° 5, p. 301–306.
- ARENDRT, Maja, FALL, Tove, LINDBLAD-TOH, Kerstin et AXELSSON, Erik, 2014. Amylase activity is associated with *AMY2B* copy numbers in dog: implications for dog domestication, diet and diabetes. In : *Animal Genetics*. octobre 2014. Vol. 45, n° 5, p. 716-722.
- ASPINALL, Victoria et CAPPELLO, Melanie, 2015. *Introduction to veterinary anatomy and physiology textbook*. Third edition. Edinburgh ; New York : Elsevier.
- AUFOX, Erin E., MAY, Elizabeth R., FRANK, Linda A. et KANIA, Stephen A., 2018. PCR analysis of a prescription vegetarian diet and use in three dogs with cutaneous adverse food reactions. In : *Veterinary Dermatology*. 24 avril 2018.
- AXELSSON, Erik, RATNAKUMAR, Abhirami, ARENDRT, Maja-Louise, MAQBOOL, Khurram, WEBSTER, Matthew T., PERLOSKI, Michele, LIBERG, Olof, ARNEMO, Jon M., HEDHAMMAR, Åke et LINDBLAD-TOH, Kerstin, 2013. The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. In : *Nature*. 23 janvier 2013. Vol. 495, n° 7441, p. 360-364.
- BABU, S. et SRIKANTIA, S. G., 1976. Availability of folates from some foods. In : *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1 avril 1976. Vol. 29, n° 4, p. 376-379.
- BAEDE, Valérie O., WAGENAAR, Jaap A., BROENS, Els M., DUIM, Birgitta, DOHMEN, Wietske, NIJSSE, Rolf, TIMMERMAN, Arjen J. et HORDIJK, Joost, 2015. Longitudinal study of extended-spectrum- β -lactamase- and AmpC-producing Enterobacteriaceae in household dogs. In : *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2015. Vol. 59, n° 6, p. 3117-3124.
- BAKER, D H et CZARNECKI-MAULDEN, G L, 1991. Comparative Nutrition of Cats and Dogs. In : *Annual Review of Nutrition*. 1991. Vol. 11, n° 1, p. 239-263.
- BARTGES, Joseph W., 2012. Chronic Kidney Disease in Dogs and Cats. In : *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. juillet 2012. Vol. 42, n° 4, p. 669-692.

BATCHELOR, D. J., AL-RAMMAHI, M., MORAN, A. W., BRAND, J. G., LI, X., HASKINS, M., GERMAN, A. J. et SHIRAZI-BEECHEY, S. P., 2011. Sodium/glucose cotransporter-1, sweet receptor, and disaccharidase expression in the intestine of the domestic dog and cat: two species of different dietary habit. In : *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* [en ligne]. janvier 2011. Vol. 300, n° 1. [Consulté le 6 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpregu.00262.2010>.

BATEMAN, W. G., 1916. The digestibility and utilization of egg-proteins - W. G. Bateman, 1916. In : [en ligne]. 1916. [Consulté le 9 août 2018]. Disponible à l'adresse : <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3181/00379727-13-86?journalCode=ebma>.

BATT, R. M., CARTER, M. W. et MCLEAN, L., 1984. Morphological and biochemical studies of a naturally occurring enteropathy in the Irish setter dog: a comparison with coeliac disease in man. In : *Research in Veterinary Science*. novembre 1984. Vol. 37, n° 3, p. 339-346.

BENNETT, Nicole, GRECO, Deborah S., PETERSON, Mark E., KIRK, Claudia, MATHES, Mark et FETTMAN, Martin J., 2006. Comparison of a low carbohydrate-low fiber diet and a moderate carbohydrate-high fiber diet in the management of feline diabetes mellitus. In : *Journal of Feline Medicine and Surgery*. avril 2006. Vol. 8, n° 2, p. 73-84.

BERMINGHAM, Emma N., THOMAS, David G., CAVE, Nicholas J., MORRIS, Penelope J., BUTTERWICK, Richard F. et GERMAN, Alexander J., 2014. Energy Requirements of Adult Dogs: A Meta-Analysis. In : GONZALEZ-BULNES, Antonio (éd.), *PLoS ONE*. 14 octobre 2014. Vol. 9, n° 10, p. 23.

BIAGI, G, MORDENTI, A.L, COCCHI, M. et MORDENTI, A., 2004. The role of dietary omega-3 and omega-6 essential fatty acids in the nutrition of dogs and cats : a review. In : *Progress in nutrition*. 2004. Vol. 6, n° 2.

BILLINGHURST, Ian, 1993. *Give your dog a bone. The practical common sens way to feed your dog*. New edition. Alexandria (Australia) : Bridge printery.

BLANCHARD, Géraldine et PARAGON, Bernard-Marie, 2008. *L'alimentation des chiens*. S.l. : France Agricole Editions.

BRADSHAW, John W. S., 2006. The Evolutionary Basis for the Feeding Behavior of Domestic Dogs (*Canis familiaris*) and Cats (*Felis catus*). In : *The Journal of Nutrition*. 1 juillet 2006. Vol. 136, n° 7, p. 1927S-1931S.

BREMER, J., 1983. Carnitine--metabolism and functions. In : *Physiological Reviews*. octobre 1983. Vol. 63, n° 4, p. 1420-1480.

BROWN, Wendy Y., VANSELOW, Barbara A., REDMAN, Andrew J. et PLUSKE, John R., 2009. An experimental meat-free diet maintained haematological characteristics in sprint-racing sled dogs. In : *British Journal of Nutrition*. novembre 2009. Vol. 102, n° 09, p. 1318. DOI 10.1017/S0007114509389254.

BRUNENGRABER, Daniel Z., MCCABE, Brendan J., KASUMOV, Takhar, ALEXANDER, James C., CHANDRAMOULI, Visvanathan et PREVIS, Stephen F., 2003. Influence of diet on the modeling of adipose tissue triglycerides during growth. In : *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*. octobre 2003. Vol. 285, n° 4, p. 917-925.

BRYAN, Jacqueline et FRANK, Linda, 2010. Food allergy in the cat : A diagnosis by elimination. In : *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2010. Vol. 12, p. 861-866.

- BURGER, I. H. et RIVERS, J. P. W. (éd.), 2009. *Nutrition of the Dog and Cat: Waltham Symposium Number 7*. 1 edition. Cambridge : Cambridge University Press.
- BURNS, R. A., MILNER, J. A. et CORBIN, J. E., 1981. Arginine: an indispensable amino acid for mature dogs. In : *The Journal of Nutrition*. juin 1981. Vol. 111, n° 6, p. 1020-1024.
- C. SMITH, Dietrich et MILLER PROUTT, Leah, 1944. Development of Thiamine Deficiency in the Cat on a Diet of Raw Fish. In : *Proc Soc Exp Biol Med*. 1 mai 1944. Vol. 56, p. 1-3.
- CARCIOFI, A. C., TAKAKURA, F. S., DE-OLIVEIRA, L. D., TESHIMA, E., JEREMIAS, J. T., BRUNETTO, M. A. et PRADA, F., 2008. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. juin 2008. Vol. 92, n° 3, p. 326-336.
- CASE, Linda P. (éd.), 2011. *Canine and feline nutrition: a resource for companion animal professionals*. 3rd ed. Maryland Heights, Mo : Mosby. SF427.4 .C37 2011
- CATASSI, Carlo, ALAEDINI, Armin, BOJARSKI, Christian, BONAZ, Bruno, BOUMA, Gerd, CARROCCIO, Antonio, CASTILLEJO, Gemma, DE MAGISTRIS, Laura, DIETERICH, Walburga, DI LIBERTO, Diana, ELLI, Luca, FASANO, Alessio, HADJIVASSILIOU, Marios, KURIEN, Matthew, LIONETTI, Elena, MULDER, Chris J., ROSTAMI, Kamran, SAPONE, Anna, SCHERF, Katharina, SCHUPPAN, Detlef, TROTT, Nick, VOLTA, Umberto, ZEVALLOS, Victor, ZOPF, Yurdagül et SANDERS, David S., 2017. The Overlapping Area of Non-Celiac Gluten Sensitivity (NCGS) and Wheat-Sensitive Irritable Bowel Syndrome (IBS): An Update. In : *Nutrients* [en ligne]. 21 novembre 2017. Vol. 9, n° 11. [Consulté le 24 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5707740/>.
- CHARVET, Jean-Paul, 2018. CÉRÉALES. In : *Encyclopædia Universalis* [en ligne]. 2018. [Consulté le 20 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/cereales/>.
- CHATTERJEE, I. B., MAJUMDER, A. K., NANDI, B. K. et SUBRAMANIAN, N., 1975. Synthesis and some major functions of vitamin C in animals. In : *Annals of the New York Academy of Sciences*. 30 septembre 1975. Vol. 258, p. 24-47.
- COLLIARD, Laurence, ANCEL, Julie, BENET, Jean-Jacques, PARAGON, Bernard-Marie et BLANCHARD, Géraldine, 2006. Risk Factors for Obesity in Dogs in France. In : *The Journal of Nutrition*. 1 juillet 2006. Vol. 136, n° 7, p. 1951S-1954S.
- CONTRERAS-AGUILAR, María Dolores, TECLES, Fernando, MARTÍNEZ-SUBIELA, Silvia, ESCRIBANO, Damián, BERNAL, Luis Jesús et CERÓN, José Joaquín, 2017. Detection and measurement of alpha-amylase in canine saliva and changes after an experimentally induced sympathetic activation. In : *BMC Veterinary Research* [en ligne]. 22 août 2017. Vol. 13. [Consulté le 21 avril 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5568211/>.
- CYNOBER, Luc, MOINARD, Christophe et DE BANDT, Jean-Pascal, 2010. Citrulline: a new major signaling molecule or just another player in the pharmaconutrition game? In : *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)*. octobre 2010. Vol. 29, n° 5, p. 545-551.
- DA COSTA, P.D. et HOSKINS, J.D., 1990. The role of taurine in cats: current concepts. In : *The Compendium on continuing education for the practicing veterinarian (USA)* [en ligne]. 1990. [Consulté le 12 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9114992>.

- DAVIS, Simon J. M. et VALLA, François R., 1978. Evidence for domestication of the dog 12,000 years ago in the Natufian of Israel. In : *Nature*. décembre 1978. Vol. 276, n° 5688, p. 608-610.
- DE-OLIVEIRA, L. D., CARCIOFI, A. C., OLIVEIRA, M. C. C., VASCONCELLOS, R. S., BAZOLLI, R. S., PEREIRA, G. T. et PRADA, F., 2008. Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats1. In : *Journal of Animal Science*. 1 septembre 2008. Vol. 86, n° 9, p. 2237-2246.
- DIJCKER, J. C., HAGEN-PLANTINGA, E. A., EVERTS, H., BOSCH, G., KEMA, I. P. et HENDRIKS, W. H., 2012. Dietary and animal-related factors associated with the rate of urinary oxalate and calcium excretion in dogs and cats. In : *Veterinary Record*. 14 juillet 2012. Vol. 171, n° 2, p. 46-46.
- DIJCKER, Judith, 2013. Nutrition and oxalate metabolism in cats. In : . 2013. p. 174.
- DILLITZER, Natalie, BECKER, Nicola et KIENZLE, Ellen, 2011. Intake of minerals, trace elements and vitamins in bone and raw food rations in adult dogs. In : *British Journal of Nutrition*. octobre 2011. Vol. 106, n° S1, p. S53-S56.
- DOBENECKER, B. et BRAUN, U., 2015. Creatine and creatinine contents in different diet types for dogs – effects of source and processing. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 1 décembre 2015. Vol. 99, n° 6, p. 1017-1024.
- ECKERSALL, P. David, 2008. Proteins, Proteomics, and the Dysproteinemias. In : *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Sixth Edition. S.l. : Elsevier Inc. p. 117 à 155.
- ÉDITIONS LAROUSSE, 2018. Définitions : véganisme - Dictionnaire de français Larousse. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 25 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/v%C3%A9ganisme/10910804>.
- ELLIOTT, Jonathan, GRAUER, Gregory F., WESTROPP, Jodi L. et BRITISH SMALL ANIMAL VETERINARY ASSOCIATION (éd.), 2017. *BSAVA manual of canine and feline nephrology and urology*. Third edition. Quedgeley : British Small Animal Veterinary Association.
- ELLIOTT, K.F., RAND, J.S., FLEEMAN, L.M., MORTON, J.M., LITSTER, A.L., BIOURGE, V.C. et MARKWELL, P.J., 2012. A diet lower in digestible carbohydrate results in lower postprandial glucose concentrations compared with a traditional canine diabetes diet and an adult maintenance diet in healthy dogs. In : *Research in Veterinary Science*. août 2012. Vol. 93, n° 1, p. 288-295.
- ENGELKING, Larry R., 2015. *Textbook of veterinary physiological chemistry*. Third Edition. Amsterdam ; Boston : Academic Press/Elsevier. SF769.3 .E54 2015
- ENGLYST, Hans N. et HUDSON, Geoffrey J., 1996. The classification and measurement of dietary carbohydrates. In : *Food Chemistry*. 1 septembre 1996. Vol. 57, n° 1, p. 15-21.
- ERDMAN, J. W., 1979. Oilseed phytates: Nutritional implications. In : *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1 août 1979. Vol. 56, n° 8, p. 736-741.
- ETTINGER, Stephen J, FELDMAN, Edward C et CÔTÉ, Etienne, 2010. *Textbook of veterinary internal medicine: diseases of the dog and the cat* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 12 août 2018]. Disponible à l'adresse : https://nls.lids.org.uk/welcome.html?ark:/81055/vdc_100038940926.0x000001.

- FARROW, H.A., RAND, J.S., MORTON, J.M., O'LEARY, C.A. et SUNVOLD, G.D., 2013. Effect of Dietary Carbohydrate, Fat, and Protein on Postprandial Glycemia and Energy Intake in Cats. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. septembre 2013. Vol. 27, n° 5, p. 1121-1135.
- FERBECK, Garance et CROMBECQUE, Nathalie, 2017. *Les pratiques alimentaires d'aujourd'hui et de demain*. S.l.
- FINLEY, Rita, RIBBLE, Carl, ARAMINI, Jeff, VANDERMEER, Meredith, POPA, Maria, LITMAN, Marcus et REID-SMITH, Richard, 2007. The risk of salmonellae shedding by dogs fed Salmonella-contaminated commercial raw food diets. In : *Canadian Veterinary Journal*. 2007. Vol. 48, p. 69-75.
- FRANK, G., ANDERSON, W., PAZAK, H., HODGKINS, E., BALLAM, J. et LAFLAMME, D., 2001. Use of a high-protein diet in the management of feline diabetes mellitus. In : *Veterinary Therapeutics: Research in Applied Veterinary Medicine*. 2001. Vol. 2, n° 3, p. 238-246.
- FREDRIKSSON-AHOMAA, Maria, HEIKKILÄ, Tiina, PERNU, Noora, KOVANEN, Sara, HIELM-BJÖRKMAN, Anna et KIVISTÖ, Rauni, 2017. Raw Meat-Based Diets in Dogs and Cats. In : *Veterinary Sciences*. 28 juin 2017. Vol. 4, n° 4, p. 33.
- FREEMAN, L. M. et MICHEL, K. E., 2001. Evaluation of raw food diets for dogs. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 mars 2001. Vol. 218, n° 5, p. 705-709.
- FREEMAN, Lisa M., CHANDLER, Marjorie L., HAMPER, Beth A. et WEETH, Lisa P., 2013. Current knowledge about the risks and benefits of raw meat-based diets for dogs and cats. In : [en ligne]. 2013. [Consulté le 23 mars 2017]. Disponible à l'adresse : <https://avmajournals.avma.org/doi/pdfplus/10.2460/javma.243.11.1549>.
- FUNABA, Masayuki, MATSUMOTO, Chiho, MATSUKI, Kunihiro, GOTOH, Ken, KANEKO, Masahiro, IRIKI, Tsunenori, HATANO, Yoshikazu et ABE, Matanobu, 2002. Comparison of corn gluten meal and meat meal as a protein source in dry foods formulated for cats. In : *American journal of veterinary research*. 2002. Vol. 63, n° 9, p. 1247-1251.
- FUNABA, Masayuki, OKA, Yuko, KOBAYASHI, Shinji, KANEKO, Masahiro, YAMAMOTO, Hiromi, NAMIKAWA, Kazuhiko, IRIKI, Tsunenori, HATANO, Yoshikazu et ABE, Matanobu, 2005. Evaluation of meat meal, chicken meal, and corn gluten meal as dietary sources of protein in dry cat food. In : *Canadian Journal of Veterinary Research = Revue Canadienne De Recherche Veterinaire*. octobre 2005. Vol. 69, n° 4, p. 299-304.
- GARDEN, O. A., PIDDUCK, H., LAKHANI, K. H., WALKER, D., WOOD, J. L. et BATT, R. M., 2000. Inheritance of gluten-sensitive enteropathy in Irish Setters. In : *American Journal of Veterinary Research*. avril 2000. Vol. 61, n° 4, p. 462-468.
- GERSHOFF, S. N., ANDRUS, S. B., HEGSTED, D. M. et LENTINI, E. A., 1957. Vitamin A deficiency in cats. In : *Laboratory Investigation; a Journal of Technical Methods and Pathology*. juin 1957. Vol. 6, n° 3, p. 227-240.
- GFK, 2016. Natural and grain-free pet food : Serious contenders. In : *GFK* [en ligne]. 10 juin 2016. [Consulté le 9 août 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.jbc.org/content/26/1/263.full.pdf>.
- GOLDMAN, A. L., 1992. Hypervitaminosis A in a cat. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 juin 1992. Vol. 200, n° 12, p. 1970-1972.

GOODING, Margaret A., ATKINSON, Jim L., DUNCAN, Ian J. H., NIEL, Lee et SHOVELLER, Anna K., 2015. Dietary fat and carbohydrate have different effects on body weight, energy expenditure, glucose homeostasis and behaviour in adult cats fed to energy requirement. In : *Journal of Nutritional Science* [en ligne]. 2015. Vol. 4. [Consulté le 29 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.journals.cambridge.org/abstract_S2048679014000603.

GRAY, Christina M., SELTON, Rance K. et FREEMAN, Lisa M., 2004. Nutritional adequacy of two vegan diets for cats. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2004. Vol. 225, n° 11, p. 1670–1675.

GREEN, Alice S. et FASCETTI, Andrea J., 2016. Meeting the Vitamin A Requirement: The Efficacy and Importance of β -Carotene in Animal Species. In : *The Scientific World Journal*. 2016. Vol. 2016, p. 1-22. DOI 10.1155/2016/7393620.

GREEN, Alice S., RAMSEY, Jon J., VILLAVARDE, Cecilia, ASAMI, Danny K., WEI, Alfreda et FASCETTI, Andrea J., 2008. Cats are able to adapt protein oxidation to protein intake provided their requirement for dietary protein is met. In : *The Journal of nutrition*. 2008. Vol. 138, n° 6, p. 1053–1060.

GUILFORD, W. Grant, JONES, Boyd R., MARKWELL, Peter J., ARTHUR, Donald G., COLLETT, Mark G. et HARTE, John G., 2001. Food Sensitivity in Cats with Chronic Idiopathic Gastrointestinal Problems. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2001. Vol. 15, n° 1, p. 7-13.

GUILFORD, W. Grant, MARKWELL, Peter J., JONES, Boyd R., HARTE, John G. et WILLS, Josephine M., 1998. Prevalence and Causes of Food Sensitivity in Cats with Chronic Pruritus, Vomiting or Diarrhea. In : *The Journal of Nutrition*. 1 décembre 1998. Vol. 128, n° 12, p. 2790S-2791S.

GUJRAL, Naiyana, 2012. Celiac disease: Prevalence, diagnosis, pathogenesis and treatment. In : *World Journal of Gastroenterology*. 2012. Vol. 18, n° 42, p. 6036. DOI 10.3748/wjg.v18.i42.6036.

HA, Y. H., MILNER, J. A. et CORBIN, J. E., 1978. Arginine requirements in immature dogs. In : *The Journal of Nutrition*. février 1978. Vol. 108, n° 2, p. 203-210.

HALL, E. J. et BATT, R. M., 1992. Dietary modulation of gluten sensitivity in a naturally occurring enteropathy of Irish setter dogs. In : *Gut*. 1992. Vol. 33, n° 2, p. 198–205.

HALLBERG, L., ROSSANDER-HULTHÉN, L., BRUNE, M. et GLEERUP, A., 1993. Inhibition of haem-iron absorption in man by calcium. In : *The British Journal of Nutrition*. mars 1993. Vol. 69, n° 2, p. 533-540.

HANDL, S., 2014. The « BARF » trend - advantages, drawbacks and risks. In : *Veterinary Focus*. 2014. Vol. 24, n° 3, p. 16-23.

HAYES, K. C., 1971. On the Pathophysiology of Vitamin a Deficiency. In : *Nutrition Reviews*. 1 janvier 1971. Vol. 29, n° 1, p. 3-6.

HAYES, K.C. et TRAUTWEIN, Elke A., 1989. Taurine Deficiency Syndrome in Cats. In : *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. mai 1989. Vol. 19, n° 3, p. 403-413.

HAZEWINKEL, H. a. W., 1989. Nutrition in relation to skeletal growth deformities. In : *Journal of Small Animal Practice*. 1 novembre 1989. Vol. 30, n° 11, p. 625-630.

- HAZEWINKEL, H. a. W. et TRYFONIDOU, M. A., 2002. Vitamin D3 metabolism in dogs. In : *Molecular and Cellular Endocrinology*. 29 novembre 2002. Vol. 197, n° 1-2, p. 23-33.
- HENDRIKS, W. H., EMMENS, M. M., TRASS, B. et PLUSKE, J. R., 1999. Heat processing changes the protein quality of canned cat foods as measured with a rat bioassay. In : *Journal of Animal Science*. mars 1999. Vol. 77, n° 3, p. 669-676.
- HENDRIKS, W. H, RUTHERFURD, S. M et RUTHERFURD, K. J, 2001. Importance of sulfate, cysteine and methionine as precursors to feline synthesis by domestic cats (*Felis catus*). In : *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 1 juillet 2001. Vol. 129, n° 3, p. 211-216.
- HEWSON-HUGHES, A. K., HEWSON-HUGHES, V. L., MILLER, A. T., HALL, S. R., SIMPSON, S. J. et RAUBENHEIMER, D., 2011. Geometric analysis of macronutrient selection in the adult domestic cat, *Felis catus*. In : *Journal of Experimental Biology*. 15 mars 2011. Vol. 214, n° 6, p. 1039-1051.
- HOELZER, Karin, MORENO SWITT, Andrea Isabel et WIEDMANN, Martin, 2011. Animal contact as a source of human non-typhoidal salmonellosis. In : *Veterinary Research*. 14 février 2011. Vol. 42, p. 34.
- HOW, K. L. et HAZEWINKEL, H. A. W., 1994. *Dietary vitamin D dependence of cat and dog due to inadequate cutaneous synthesis of vitamin D*. 1994. S.l. : s.n.
- INRA, 2013. *Importance et diversité des mycotoxines* [en ligne]. 24 mai 2013. S.l. : INRA. [Consulté le 14 mars 2018]. Disponible à l'adresse : <http://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/236033-b998d-resource-les-mycotoxines-et-leur-effets.html>.
- INSTITUT PASTEUR, 2015. Listériose. In : *Institut Pasteur* [en ligne]. 6 octobre 2015. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/listeriose>.
- INSTITUT PASTEUR, 2016. Salmonellose. In : *Institut Pasteur* [en ligne]. 21 janvier 2016. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/salmonellose>.
- JADOT, Guy, 1994. *Antioxydants et vieillissement*. S.l. : John Libbey Eurotext.
- JOFFE, Daniel J. et SCHLESINGER, Daniel P., 2002. Preliminary assessment of the risk of Salmonella infection in dogs fed raw chicken diets. In : *The Canadian Veterinary Journal*. 2002. Vol. 43, n° 6, p. 441.
- KANAKUBO, Kayo, FASCETTI, Andrea J. et LARSEN, Jennifer A., 2015. Assessment of protein and amino acid concentrations and labeling adequacy of commercial vegetarian diets formulated for dogs and cats. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2015. Vol. 247, n° 4, p. 385–392.
- KANEKO, Jiro Jerry, HARVEY, John W. et BRUSS, Michael L., 2008. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. S.l. : Academic Press.
- KERR, K. R., VESTER BOLER, B. M., MORRIS, C. L., LIU, K. J. et SWANSON, K. S., 2012. Apparent total tract energy and macronutrient digestibility and fecal fermentative end-product concentrations of domestic cats fed extruded, raw beef-based, and cooked beef-based diets. In : *Journal of Animal Science*. 1 février 2012. Vol. 90, n° 2, p. 515-522.

- KIENZLE, E., DOBENECKER, B. et EBER, S., 2001. Effect of cellulose on the digestibility of high starch versus high fat diets in dogs. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. juin 2001. Vol. 85, n° 5-6, p. 174-185.
- KIENZLE, E. et ENGELHARD, R. A., 2001. Field study on the nutrition of vegetarian dogs and cats in Europe. In : *Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian*. 2001.
- KIENZLE, E. et MEYER, H. (Institut für Tierernährung, 1989. The effects of carbohydrate-free diets containing different levels of protein on reproduction in the bitch. In : [en ligne]. 1989. [Consulté le 9 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB9100461>.
- KIENZLE, Ellen, 1993. Carbohydrate metabolism of the cat 1. Activity of amylase in the gastrointestinal tract of the cat1. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 8 janvier 1993. Vol. 69, n° 1-5, p. 92-101.
- KITCHEN, D. N., CARLTON, W. W. et TUIE, J., 1977. Ochratoxin A and citrinin induced nephrosis in Beagle dogs. II. Pathology. In : *Veterinary Pathology*. mai 1977. Vol. 14, n° 3, p. 261-272.
- KNIGHT, Andrew et LEITSBERGER, Madelaine, 2016. Vegetarian versus Meat-Based Diets for Companion Animals. In : *Animals*. 21 septembre 2016. Vol. 6, n° 9, p. 57.
- KÖHLER, B., STENGEL, C. et NEIGER, R., 2012. Dietary hyperthyroidism in dogs. In : *Journal of Small Animal Practice*. 2012. Vol. 53, n° 3, p. 182-184.
- LAROUSSE, 2018. Définitions : anthropomorphisme - Dictionnaire de français Larousse. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 25 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/anthropomorphisme/3906>.
- LAROUSSE, Éditions, 2018a. Définitions : malnutrition - Dictionnaire de français Larousse. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 23 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/malnutrition/48936>.
- LAROUSSE, Éditions, 2018b. Définitions : végétarisme - Dictionnaire de français Larousse. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 25 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/v%C3%A9g%C3%A9tarisme/81259>.
- LARSEN, Rune, STORMO, Svein Kristian, DRAGNES, Bjørn Tore et ELVEVOLL, Edel O., 2007. Losses of taurine, creatine, glycine and alanine from cod (*Gadus morhua* L.) fillet during processing. In : *Journal of Food Composition and Analysis*. 1 août 2007. Vol. 20, n° 5, p. 396-402.
- LAUTEN, S.D., SMITH, T.M. et KIRK, Claudia, 2005. Computer analysis of nutrient sufficiency of published home-cooked diets for dogs and cats [abstract]. In : *J Vet Intern Med*. 1 janvier 2005. Vol. 19, p. 476-477.
- LEBENTHAL, E., ANTONOWICZ, I. et SHWACHMAN, H., 1975. Correlation of lactase activity, lactose tolerance and milk consumption in different age groups. In : *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1 juin 1975. Vol. 28, n° 6, p. 595-600.
- LECOINDRE, Alexis, 2014. Hyperparathyroïdie secondaire nutritionnelle : un cas d'ostéofibrose chez un chaton. In : *L'essentiel* [en ligne]. 2014. n° 321. [Consulté le 11 août 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.lessentielvet.com/IMG/pdf/chat2-43.pdf>.

LEFEBVRE, S. L., REID-SMITH, R., BOERLIN, P. et WEESE, J. S., 2008. Evaluation of the Risks of Shedding Salmonellae and Other Potential Pathogens by Therapy Dogs Fed Raw Diets in Ontario and Alberta: The Risks of Shedding Salmonellae by Therapy Dogs Fed Raw Diets. In : *Zoonoses and Public Health*. 3 septembre 2008. Vol. 55, n° 8-10, p. 470-480.

LEGRAND-DEFRETIN, Veronique, 1994. Differences between cats and dogs: a nutritional view. In : *Proceedings of the Nutrition Society*. mars 1994. Vol. 53, n° 01, p. 15-24.

LEITCHTY, M et BLAKE, K, 2005. Canine epileptoid cramping syndrome in border terriers. In : *National Border Terrier Specialty CECS Seminar* [en ligne]. S.l. 6 juin 2005. [Consulté le 5 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.borderterrier-cecs.com/cecs_handout.htm.

LENZ, Jennifer, JOFFE, Daniel, KAUFFMAN, Michael, ZHANG, Yifan et LEJEUNE, Jeffery, 2009. Perceptions, practices, and consequences associated with foodborne pathogens and the feeding of raw meat to dogs. In : *The Canadian Veterinary Journal*. 2009. Vol. 50, n° 6, p. 637.

LEONARD, Finola, 2014. Salmonella infection and carriage: the importance of dogs and their owners. In : *Veterinary Record*. 25 janvier 2014. Vol. 174, n° 4, p. 92-93.

LERICHE, I, CHAIX, G., ANDRÉ, A et NGUYEN, P., 2017. Assessment of renal function over 5 months in adult dogs fed a high protein dry diet. In : . 2017.

LEUNG, Maxwell C.K., DIAZ-LLANO, Gabriel et SMITH, Trevor K, 2006. Mycotoxins in Pet Food: A Review on Worldwide Prevalence and Preventative Strategies. In : . 2006. p. 13.

LOEW, F M, MARTIN, C L, DUNLOP, R H, MAPLETOFT, R J et SMITH, S I, 1970. Naturally-occurring and experimental thiamin deficiency in cats receiving commercial cat food. In : *The Canadian Veterinary Journal*. juin 1970. Vol. 11, n° 6, p. 109-113.

LONSDALE, Tom, 2001. *Raw Meaty Bones : Promote Health*. S.l. : Rivetco Pty Ltd.

LOWE, John A., MURPHY, Martin et NASH, Victoria, 1998. Changes in Plasma and Muscle Creatine Concentration after Increases in Supplementary Dietary Creatine in Dogs. In : *The Journal of Nutrition*. 1 décembre 1998. Vol. 128, n° 12, p. 2691S-2693S.

LOWRIE, M., GARDEN, O.A., HADJIVASSILIOU, M., HARVEY, R.J., SANDERS, D.S., POWELL, R. et GAROSI, L., 2015. The Clinical and Serological Effect of a Gluten-Free Diet in Border Terriers with Epileptoid Cramping Syndrome. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. novembre 2015. Vol. 29, n° 6, p. 1564-1568.

LOWRIE, M., HADJIVASSILIOU, M., SANDERS, D. S. et GARDEN, O. A., 2016. A presumptive case of gluten sensitivity in a border terrier: a multisystem disorder? In : *The Veterinary Record*. 3 décembre 2016. Vol. 179, n° 22, p. 573.

LUTZ, Sabina, SEWELL, Adrian C., REUSCH, Claudia E. et KOOK, Peter H., 2013. Clinical and Laboratory Findings in Border Collies with Presumed Hereditary Juvenile Cobalamin Deficiency. In : *Journal of the American Animal Hospital Association*. mai 2013. Vol. 49, n° 3, p. 197-203.

MABEE, Dorothea M. et MORGAN, Agnes Fay, 1951. Evaluation by Dog Growth of Egg Yolk Protein and Six other Partially Purified Proteins, some after Heat Treatment Four Figures. In : *The Journal of Nutrition*. 1 février 1951. Vol. 43, n° 2, p. 261-279.

- MACDONALD, M. L., ROGERS, Q. R. et MORRIS, J. G., 1984. Nutrition of the domestic cat, a mammalian carnivore. In : *Annual Review of Nutrition*. 1984. Vol. 4, p. 521-562. DOI 10.1146/annurev.nu.04.070184.002513.
- MAIA, P. Penido et PEREIRA BASTOS DE SIQUEIRA, M. E., 2002. Occurrence of aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in some Brazilian pet foods. In : *Food Additives and Contaminants*. décembre 2002. Vol. 19, n° 12, p. 1180-1183.
- MARKWELL, P.J. et EARLE, K.E., 1995. Taurine: An essential nutrient for the cat. A brief review of the biochemistry of its requirement and the clinical consequences of deficiency. In : *Nutrition Research*. janvier 1995. Vol. 15, n° 1, p. 53-58.
- MARSHALL, I. E et JOHNSON, J V, 1993. Digestion and Absorption. In : *The Waltham Book of Companion Animal Nutrition*. Burger IH. Oxford, UK : s.n. p. pages 25-44.
- MARX, Fr, MACHADO, Gs, PEZZALI, Jg, MARCOLLA, Cs, KESSLER, Am, AHLSTRØM, ø et TREVIZAN, L, 2016. Raw beef bones as chewing items to reduce dental calculus in Beagle dogs. In : *Australian Veterinary Journal*. janvier 2016. Vol. 94, n° 1-2, p. 18-23.
- MCCARTY, Mark F., BARROSO-ARANDA, Jorge et CONTRERAS, Francisco, 2009. The low-methionine content of vegan diets may make methionine restriction feasible as a life extension strategy. In : *Medical Hypotheses*. février 2009. Vol. 72, n° 2, p. 125-128.
- MCCORMICK, D.B., 1990. Riboflavin. In : BOWMAN, B.A. et RUSSEL, R.M. (éd.), *Present Knowledge in Nutrition*. ninth edition. Washington, D.C. : International Life Sciences Institute. p. 146.
- MCCORMICK, D.B., 2006. Vitamin B6. In : BOWMAN, B.A. et RUSSEL, R.M. (éd.), *Present Knowledge in Nutrition*. ninth edition. Washington, D.C. : International Life Sciences Institute. p. 269-277.
- MCCUSKER, Sarah, BUFF, Preston R., YU, Zengshou et FASCETTI, Andrea J., 2014. Amino acid content of selected plant, algae and insect species: A search for alternative protein sources for use in pet foods. In : *Journal of nutritional science*. 2014. Vol. 3.
- MCDOWELL, Lee Russell, 2000. *Vitamins in Animal and Human Nutrition*. Deuxième édition. S.l. : s.n.
- MCGEACHIN, R. L. et AKIN, J. R., 1979. Amylase levels in the tissues and body fluids of the domestic cat (*Felis catus*). In : *Comparative Biochemistry and Physiology. B, Comparative Biochemistry*. 1979. Vol. 63, n° 3, p. 437-439.
- MICHEL, K, BADER, A, SHOFER, F, BARBERA, C, OAKLEY, D et GIGER, U, 2005. Impact of time-limited feeding and dietary carbohydrate content on weight loss in group-housed cats. In : *Journal of Feline Medicine & Surgery*. décembre 2005. Vol. 7, n° 6, p. 349-355.
- MILNER, J. A., 1979. Assessment of the Essentiality of Methionine, Threonine, Tryptophan, Histidine and Isoleucine in Immature Dogs. In : *The Journal of Nutrition*. 1 août 1979. Vol. 109, n° 8, p. 1351-1357.
- MONTAGUE, Michael J., LI, Gang, GANDOLFI, Barbara, KHAN, Razib, AKEN, Bronwen L., SEARLE, Steven M. J., MINX, Patrick, HILLIER, LaDeana W., KOBOLDT, Daniel C., DAVIS, Brian W., DRISCOLL, Carlos A., BARR, Christina S., BLACKISTONE, Kevin, QUILEZ, Javier, LORENTE-GALDOS, Belen, MARQUES-BONET, Tomas, ALKAN, Can, THOMAS, Gregg W. C., HAHN, Matthew W., MENOTTI-RAYMOND, Marilyn, O'BRIEN, Stephen J., WILSON, Richard K., LYONS, Leslie A., MURPHY, William J. et WARREN, Wesley C., 2014. Comparative analysis of the domestic cat genome reveals genetic

signatures underlying feline biology and domestication. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2 décembre 2014. Vol. 111, n° 48, p. 17230-17235.

MORGAN, Stewart K., WILLIS, Susan et SHEPHERD, Megan L., 2017. Survey of owner motivations and veterinary input of owners feeding diets containing raw animal products. In : *PeerJ*. 2 mars 2017. Vol. 5, p. e3031.

MORRIS, J. G., 1985. Nutritional and metabolic responses to arginine deficiency in carnivores. In : *The Journal of Nutrition*. avril 1985. Vol. 115, n° 4, p. 524-531.

MORRIS, J. G., 2002. Cats discriminate between cholecalciferol and ergocalciferol. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. août 2002. Vol. 86, n° 7-8, p. 229-238.

MORRIS, James G. et ROGERS, Quinton R., 1978. Arginine: An Essential Amino Acid for the Cat. In : *The Journal of Nutrition*. 1 décembre 1978. Vol. 108, n° 12, p. 1944-1953.

NAIGAMWALLA, Dinaz Z., WEBB, Jinelle A. et GIGER, Urs, 2012. Iron deficiency anemia. In : *The Canadian Veterinary Journal*. mars 2012. Vol. 53, n° 3, p. 250-256.

NAP, R.C. et HAZEWINDEL, H.A.W., 1994. Growth and skeletal development in the dog in relation to nutrition; a review. In : *Veterinary Quarterly*. mars 1994. Vol. 16, n° 1, p. 50-59.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2006. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. S.I. : National Academies Press.

NERY, J., GOUDEZ, R., BIOURGE, V., TOURNIER, C., LERAY, V., MARTIN, L., THORIN, C., NGUYEN, P. et DUMON, H., 2012. Influence of dietary protein content and source on colonic fermentative activity in dogs differing in body size and digestive tolerance¹. In : *Journal of Animal Science*. 1 août 2012. Vol. 90, n° 8, p. 2570-2580.

NICKEL, R., SCHUMMER, August et SEIFERLE, Eugen, 1979. *Viscera of Domestic Animals*. Berlin : Blackwell Science Ltd.

O'BRIEN, Stephen J., JOHNSON, Warren, DRISCOLL, Carlos, PONTIUS, Joan, PECON-SLATTERY, Jill et MENOTTI-RAYMOND, Marilyn, 2008. State of cat genomics. In : *Trends in Genetics*. juin 2008. Vol. 24, n° 6, p. 268-279.

ÖHLUND, M., EGENVALL, A., FALL, T., HANSSON-HAMLIN, H., RÖCKLINSBERG, H. et HOLST, B. S., 2017. Environmental Risk Factors for Diabetes Mellitus in Cats. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017. Vol. 31, n° 1, p. 29-35.

OLLIVIER, Morgane, TRESSET, Anne, BASTIAN, Fabiola, LAGOUTTE, Laetitia, AXELSSON, Erik, ARENDT, Maja-Louise, BĂLĂȘESCU, Adrian, MARSHOUR, Marjan, SABLIN, Mikhail V., SALANOVA, Laure, VIGNE, Jean-Denis, HITTE, Christophe et HÄNNI, Catherine, 2016. *Amy2B* copy number variation reveals starch diet adaptations in ancient European dogs. In : *Royal Society Open Science*. novembre 2016. Vol. 3, n° 11, p. 160449.

ONTKO, Joseph A., WUTHIER, Roy E. et PHILLIPS, Paul H., 1957. The Effect of Increased Dietary Fat upon the Protein Requirement of the Growing Dog. In : *The Journal of Nutrition*. 1 juin 1957. Vol. 62, n° 2, p. 163-169.

OVODOV, Nikolai D., CROCKFORD, Susan J., KUZMIN, Yaroslav V., HIGHAM, Thomas F. G., HODGINS, Gregory W. L. et PLICHT, Johannes van der, 2011. A 33,000-Year-Old Incipient Dog from the Altai

Mountains of Siberia: Evidence of the Earliest Domestication Disrupted by the Last Glacial Maximum. In : *PLOS ONE* [en ligne]. 28 juillet 2011. Vol. 6, n° 7. [Consulté le 8 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0022821>.

PARK, H.-J., LEE, S.-E., KIM, H.-B., ISAACSON, R. E., SEO, K.-W. et SONG, K.-H., 2015. Association of obesity with serum leptin, adiponectin, and serotonin and gut microflora in beagle dogs. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. janvier 2015. Vol. 29, n° 1, p. 43-50.

PASTOOR, F. J. H., VAN HERCK, H., VAN 'T KLOOSTER, A. Th. et BEYNEN, A. C., 1991. Biotin Deficiency in Cats as Induced by Feeding a Purified Diet Containing Egg White. In : *The Journal of Nutrition*. 1 novembre 1991. Vol. 121, n° suppl_11, p. 73-74.

PEMBERTON, P. W., LOBLEY, R. W., HOLMES, R., SØRENSEN, S. H. et BATT, R. M., 1997. Gluten-sensitive enteropathy in Irish setter dogs: characterisation of jejunal microvillar membrane proteins by two-dimensional electrophoresis. In : *Research in veterinary science*. 1997. Vol. 62, n° 2, p. 191-193.

PEOPLE FOR THE ETHICAL TREATMENT OF ANIMALS, 1994. Dog health survey. In : *Non publié* [en ligne]. 1994. [Consulté le 18 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.helpinganimals.com/h-vegcat-survey.html>.

PION, P. D., KITTLESON, M. D., THOMAS, W. P., DELELLIS, L. A. et ROGERS, Q. R., 1992. Response of cats with dilated cardiomyopathy to taurine supplementation. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 juillet 1992. Vol. 201, n° 2, p. 275-284.

PITT, Christopher E., 2016. Cutting through the Paleo hype: The evidence for the Palaeolithic diet. In : *Australian Family Physician*. février 2016. Vol. 45, n° 1, p. 35-38.

POLIZOPOULOU, Zoe, KAZAKOS, George, PATSIKAS, Michael et ROUBIES, Nikolaos, 2005. Hypervitaminosis A in the cat: A case report and review of the literature. In : *Journal of Feline Medicine and Surgery* [en ligne]. 2005. Vol. 7, n° 363. [Consulté le 10 août 2018]. Disponible à l'adresse : http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1016/j.jfms.2005.05.004?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%3dpubmed.

POTTER, Michael DE, WALKER, Marjorie M. et TALLEY, Nicholas J., 2017. Non-coeliac gluten or wheat sensitivity: emerging disease or misdiagnosis? In : *The Medical Journal of Australia*. 4 août 2017. Vol. 207, n° 5, p. 211-215.

POULSEN, Lars la Cour, SIERSBÆK, Majken et MANDRUP, Susanne, 2012. PPARs: Fatty acid sensors controlling metabolism. In : *Seminars in Cell & Developmental Biology*. août 2012. Vol. 23, n° 6, p. 631-639.

PRANTIL, Lori R, HEINZE, Cailin R et FREEMAN, Lisa M, 2018. Comparison of carbohydrate content between grain-containing and grain-free dry cat diets and between reported and calculated carbohydrate values. In : *Journal of Feline Medicine and Surgery*. avril 2018. Vol. 20, n° 4, p. 349-355.

PUEHRINGER, S, RAZZAZI-FAZELI, Ebrahim, KÜBBER-HEISS, Anna, BÖHM, Josef et IBEN, Christine, 2007. Occurrence of ochratoxin A in feline kidneys and pet foods for cats. In : *Wiener tierärztliche Monatsschrift*. 1 janvier 2007. Vol. 94, p. 192-196.

PURCHAS, R. W., RUTHERFURD, S. M., PEARCE, P. D., VATHER, R. et WILKINSON, B. H. P., 2004. Cooking temperature effects on the forms of iron and levels of several other compounds in beef semitendinosus muscle. In : *Meat Science*. octobre 2004. Vol. 68, n° 2, p. 201-207.

- RAND, Jacquie S., FLEEMAN, Linda M., FARROW, Heidi A., APPLETON, Delisa J. et LEDERER, Rose, 2004. Canine and Feline Diabetes Mellitus: Nature or Nurture? In : *The Journal of Nutrition*. 1 août 2004. Vol. 134, n° 8, p. 2072-2080.
- REECE, William O et ROWE, Eric W, 2017. *Functional anatomy and physiology of domestic animals*. S.I. : s.n.
- RIVERS, J. P., HASSAM, A. G. et ALDERSON, C., 1976. The absence of delta 6-desaturase activity in the cat [proceedings]. In : *The Proceedings of the Nutrition Society*. septembre 1976. Vol. 35, n° 2, p. 67-68.
- ROGERS, Q. R., MORRIS, J. G. et FREEDLAND, R. A., 1977. Lack of hepatic enzymatic adaptation to low and high levels of dietary protein in the adult cat. In : *Enzyme*. 1977. Vol. 22, n° 5, p. 348-356.
- ROGERS, Q. R. et PHANG, J. M., 1985. Deficiency of pyrroline-5-carboxylate synthase in the intestinal mucosa of the cat. In : *The Journal of Nutrition*. janvier 1985. Vol. 115, n° 1, p. 146-150.
- ROGERS, Quinton R. et MORRIS, James G., 1979. Essentiality of Amino Acids for the Growing Kitten. In : *The Journal of Nutrition*. 1 avril 1979. Vol. 109, n° 4, p. 718-723.
- ROTHGERBER, Hank, 2013. A meaty matter. Pet diet and the vegetarian's dilemma. In : *Appetite*. septembre 2013. Vol. 68, p. 76-82.
- ROTHGERBER, Hank, 2014. Carnivorous Cats, Vegetarian Dogs, and the Resolution of the Vegetarian's Dilemma. In : *Anthrozoös*. décembre 2014. Vol. 27, n° 4, p. 485-498.
- RUDE, Robert K., 2002. Chapter 21 - Magnesium Homeostasis. In : BILEZIKIAN, John P., RAISZ, Lawrence G. et RODAN, Gideon A. (éd.), *Principles of Bone Biology (Second Edition)* [en ligne]. San Diego : Academic Press. p. 339-358. [Consulté le 23 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120986521501232>.
- RUSSELL, Kim, MURGATROYD, Peter R. et BATT, Roger M., 2002. Net Protein Oxidation Is Adapted to Dietary Protein Intake in Domestic Cats (*Felis silvestris catus*). In : *The Journal of Nutrition*. 1 mars 2002. Vol. 132, n° 3, p. 456-460.
- SANDERSON, Sherry Lynn, 2006. Taurine and Carnitine in Canine Cardiomyopathy. In : *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. novembre 2006. Vol. 36, n° 6, p. 1325-1343.
- SANDOE, P., PALMER, C., CORR, S., ASTRUP, A. et BJORNVAD, C. R., 2014. Canine and feline obesity: a One Health perspective. In : *Veterinary Record*. 20 décembre 2014. Vol. 175, n° 24, p. 610-616.
- SANDRI, Misa, DAL MONEGO, Simeone, CONTE, Giuseppe, SGORLON, Sandy et STEFANON, Bruno, 2016. Raw meat based diet influences faecal microbiome and end products of fermentation in healthy dogs. In : *BMC Veterinary Research* [en ligne]. décembre 2016. Vol. 13, n° 1. [Consulté le 27 mars 2017]. Disponible à l'adresse : <http://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-017-0981-z>.
- SATO, Y, MORI, T, KOYAMA, T et NAGASE, H, 2000. Salmonella virchow infection in an infant transmitted by household dogs. In : *The Journal of Veterinary Medical Science* [en ligne]. 2000. Vol. 62, n° 7. [Consulté le 10 août 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10945298>.

- SCHAUF, S., SALAS-MANI, A., TORRE, C., BOSCH, G., SWARTS, H. et CASTRILLO, C., 2016. Effect of sterilization and of dietary fat and carbohydrate content on food intake, activity level, and blood satiety-related hormones in female dogs. In : *Journal of Animal Science*. 1 octobre 2016. Vol. 94, n° 10, p. 4239-4250.
- SCHMIDT, Milena, UNTERER, Stefan, SUCHODOLSKI, Jan S., HONNEFFER, Julia B., GUARD, Blake C., LIDBURY, Jonathan A., STEINER, Jörg M., FRITZ, Julia et KÖLLE, Petra, 2018. The fecal microbiome and metabolome differs between dogs fed Bones and Raw Food (BARF) diets and dogs fed commercial diets. In : *PLoS ONE* [en ligne]. 15 août 2018. Vol. 13, n° 8. [Consulté le 19 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6093636/>.
- SCHMIDT, Vanessa M., PINCHBECK, Gina L., NUTTALL, Tim, MCEWAN, Neil, DAWSON, Susan et WILLIAMS, Nicola J., 2015. Antimicrobial resistance risk factors and characterisation of faecal *E. coli* isolated from healthy Labrador retrievers in the United Kingdom. In : *Preventive Veterinary Medicine*. avril 2015. Vol. 119, n° 1-2, p. 31-40.
- SCHOENMAKERS, I., HAZEWINKEL, H. A., VOORHOUT, G., CARLSON, C. S. et RICHARDSON, D., 2000. Effects of diets with different calcium and phosphorus contents on the skeletal development and blood chemistry of growing great danes. In : *The Veterinary Record*. 2 décembre 2000. Vol. 147, n° 23, p. 652-660.
- SCHROPP, Diana M. et KOVACIC, Jan, 2007. Phosphorus and phosphate metabolism in veterinary patients. In : *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. juin 2007. Vol. 17, n° 2, p. 127-134.
- SCHUPPAN, Detlef, 2000. Current concepts of celiac disease pathogenesis. In : *Gastroenterology*. juillet 2000. Vol. 119, n° 1, p. 234-242.
- SCHWEIGERT, Florian J., RAILA, Jens, WICHERT, Brigitta et KIENZLE, Ellen, 2002. Cats Absorb β -Carotene, but It Is Not Converted to Vitamin A. In : *The Journal of Nutrition*. 1 juin 2002. Vol. 132, n° 6, p. 1610S-1612S.
- SCUDAMORE, K.A., T HETMANSKI, M, NAWAZ, Sadat, NAYLOR, J et RAINBIRD, S, 1997. Determination of mycotoxins in pet foods sold for domestic pets and wild birds using linked-column immunoassay clean-up and HPLC. In : *Food additives and contaminants*. 1 février 1997. Vol. 14, p. 175-86.
- SEAWRIGHT, A. A. et HRDLICKA, J., 1974. Severe retardation of growth with retention and displacement of incisors in young cats fed a diet of raw sheep liver high in vitamin A. In : *Australian Veterinary Journal*. juillet 1974. Vol. 50, n° 7, p. 306-315.
- SEMP, 2014. *Vegan nutrition of dog and cats*. 2014. S.l. : s.n.
- SHANAB, Sanaa M.M., HAFEZ, Rehab M. et FOUAD, Ahmed S., 2018. A review on algae and plants as potential source of arachidonic acid. In : *Journal of Advanced Research*. 13 mars 2018. Vol. 11, p. 3-13.
- SHARMA, Manju et MÁRQUEZ, Carmen, 2001. Determination of aflatoxins in domestic pet foods (dog and cat) using immunoaffinity column and HPLC. In : *Animal Feed Science and Technology*. 17 septembre 2001. Vol. 93, n° 1, p. 109-114.
- SPARKES, Andrew H, CANNON, Martha, CHURCH, David, FLEEMAN, Linda, HARVEY, Andrea, HOENIG, Margarethe, PETERSON, Mark E, REUSCH, Claudia E, TAYLOR, Samantha et ROSENBERG, Dan, 2015. ISFM Consensus Guidelines on the Practical Management of Diabetes Mellitus in Cats. In : *Journal of Feline Medicine and Surgery*. mars 2015. Vol. 17, n° 3, p. 235-250.

SPENCER, Richard P., PURDY, Sally, HOELDTKE, Robert, BOW, Ted M. et MARKULIS, Mary Anne, 1963. Studies on Intestinal Absorption of L-Ascorbic Acid-1-C14. In : *Gastroenterology*. 1 juin 1963. Vol. 44, n° 6, p. 768-773.

STATISTA, 2018. U.S. grain-free pet food sales, 2016 | Statistic. In : *Statista* [en ligne]. 2018. [Consulté le 21 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.statista.com/statistics/294777/us-grain-free-petfood-sales/>.

STIVER, Shane L., FRAZIER, Kendall S., MAUEL, Michael J. et STYER, Eloise L., 2003. Septicemic salmonellosis in two cats fed a raw-meat diet. In : *Journal of the American Animal Hospital Association*. 2003. Vol. 39, n° 6, p. 538-542.

STREIFF, Erin L., ZWISCHENBERGER, Bettina, BUTTERWICK, Richard F., WAGNER, Elisabeth, IBEN, Christine et BAUER, John E., 2002. A comparison of the nutritional adequacy of home-prepared and commercial diets for dogs. In : *The Journal of Nutrition*. 2002. Vol. 132, n° 6 Suppl 2.

STROHMEYER, Rachel A., MORLEY, Paul S., HYATT, Doreene R., DARGATZ, David A., SCORZA, A. Valeria et LAPPIN, Michael R., 2006. Evaluation of bacterial and protozoal contamination of commercially available raw meat diets for dogs. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 février 2006. Vol. 228, n° 4, p. 537-542.

SVIHUS, B., UHLEN, A.K. et HARSTAD, O.M., 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. In : *Animal Feed Science and Technology*. septembre 2005. Vol. 122, n° 3-4, p. 303-320.

SYME, Harriet M., 2012. Stones in cats and dogs: What can be learnt from them? In : *Arab Journal of Urology*. septembre 2012. Vol. 10, n° 3, p. 230-239.

TANAKA, A., INOUE, A., TAKEGUCHI, A., WASHIZU, T., BONKOBARA, M. et ARAI, T., 2005a. Comparison of expression of glucokinase gene and activities of enzymes related to glucose metabolism in livers between dog and cat. In : *Veterinary research communications*. 2005. Vol. 29, n° 6, p. 477-485.

TANAKA, A., INOUE, A., TAKEGUCHI, A., WASHIZU, T., BONKOBARA, M. et ARAI, T., 2005b. Comparison of Expression of Glucokinase Gene and Activities of Enzymes Related to Glucose Metabolism in Livers between Dog and Cat. In : *Veterinary Research Communications*. août 2005. Vol. 29, n° 6, p. 477-485.

TAYLOR, Mark B., GEIGER, David A., SAKER, Korinn E. et LARSON, Martha M., 2009. Diffuse osteopenia and myelopathy in a puppy fed a diet composed of an organic premix and raw ground beef. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 avril 2009. Vol. 234, n° 8, p. 1041-1048.

TAYLOR, T., CAMERON, B. D., HATHWAY, D. E. et PARTINGTON, H., 1974. The disposition of pantothenate in dogs. In : *Research in Veterinary Science*. mai 1974. Vol. 16, n° 3, p. 271-275.

TAYLOR, T., HAWKINS, D. R., HATHWAY, D. E. et PARTINGTON, H., 1972. A new urinary metabolite of pantothenate in dogs. In : *The British Veterinary Journal*. octobre 1972. Vol. 128, n° 10, p. 500-505.

TERRE-NET MEDIA, 2018. Cours des céréales - Prix du blé tendre - Marché agricole. In : *Terre-net* [en ligne]. 2018. [Consulté le 28 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.terre-net.fr/marche-agricole>.

THATCHER, Craig D, HAND, Michael S et REMILLARD, Rebecca L, 2010. Small Animal Clinical Nutrition: An Iterative Process. In : . 2010. p. 1261.

THE WORLD SMALL ANIMAL VETERINARY ASSOCIATION'S, 2017. *WSAVA Global Nutrition Committee Statement on Risks of Raw Meat-Based Diets* [en ligne]. 2017. S.l. : s.n.
[Consulté le 29 septembre 2018]. Disponible à l'adresse :
https://www.wsava.org/WSAVA/media/PDF_old/WSAVA-Global-Nutrition-Committee-Statement-on-Risks-of-Raw-Meat.pdf.

TORTOLA, L., SOUZA, N. G., ZAINE, L., GOMES, M. O. S., MATHEUS, L. F. O., VASCONCELLOS, R. S., PEREIRA, G. T. et CARCIOFI, A. C., 2013. Enzyme effects on extruded diets for dogs with soybean meal as a substitute for poultry by-product meal: Enzymes use in kibble diets with soybean meal for dogs. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. mai 2013. Vol. 97, p. 39-50.

TRIBU CARNIVORE, 2014. Exemple de menus BARF pour chien. In : *Tribu Carnivore* [en ligne]. 2014. [Consulté le 25 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.tribu-carnivore.com/>.

VADEN, S. L., SELLON, R. K., MELGAREJO, L. T., WILLIAMS, D. A., TROGDON, M. M., VANCAMP, S. D. et ARGENZIO, R. A., 2000. Evaluation of intestinal permeability and gluten sensitivity in Soft-Coated Wheaten Terriers with familial protein-losing enteropathy, protein-losing nephropathy, or both. In : *American Journal of Veterinary Research*. mai 2000. Vol. 61, n° 5, p. 518-524.

VADEN, Shelly L., LITTMAN, Meryl P. et CIANCIOLO, Rachel E., 2013. Familial renal disease in soft-coated wheaten terriers. In : *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. 1 mars 2013. Vol. 23, n° 2, p. 174-183.

VAN BREE, Freek P J, BOKKEN, Gertie C A M, MINEUR, Robin, FRANSSSEN, Frits, OPSTEEGH, Marieke, VAN DER GIESSEN, Joke W B, LIPMAN, Len J A et OVERGAAUW, Paul A M, 2018. Zoonotic bacteria and parasites found in raw meat-based diets for cats and dogs. In : *Veterinary Record*. 13 janvier 2018. Vol. 182, n° 2, p. 50-50.

VAN ROOIJEN, Charlotte, BOSCH, Guido, VAN DER POEL, Antonius F. B., WIERENGA, Peter A., ALEXANDER, Lucille et HENDRIKS, Wouter H., 2013. The Maillard reaction and pet food processing: effects on nutritive value and pet health. In : *Nutrition Research Reviews*. décembre 2013. Vol. 26, n° 02, p. 130-148.

VANDERCAMMEN, Annick et VAN SCHAFTINGEN, Emile VAN, 1993. Species and tissue distribution of the regulatory protein of glucokinase. In : *Biochemical journal*. 1993. n° 294, p. 6.

VERBRUGGHE, Adronie et HESTA, Myriam, 2017. Cats and Carbohydrates: The Carnivore Fantasy? In : *Veterinary Sciences*. 15 novembre 2017. Vol. 4, n° 4, p. 55.

VERLINDEN, A., HESTA, M., MILLET, S. et JANSSENS, G. P.J., 2006. Food Allergy in Dogs and Cats: A Review. In : *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. avril 2006. Vol. 46, n° 3, p. 259-273.

VESTER, Brittany M., BURKE, Sarah L., LIU, Kari J., DIKEMAN, Cheryl L., SIMMONS, Lee G. et SWANSON, Kelly S., 2010. Influence of feeding raw or extruded feline diets on nutrient digestibility and nitrogen metabolism of African wildcats (*Felis lybica*). In : *Zoo Biology*. novembre 2010. Vol. 29, n° 6, p. 676-686.

VIGNE, J.-D., GUILAINE, J., DEBUE, K., HAYE, L. et GÉRARD, P., 2004. Early Taming of the Cat in Cyprus. In : *Science*. 9 avril 2004. Vol. 304, n° 5668, p. 259-259.

- VIRK-BAKER, Mandeep K., NAGY, Tim R., BARNES, Stephen et GROOPMAN, John, 2014. Dietary Acrylamide and Human Cancer: A Systematic Review of Literature. In : *Nutrition and cancer*. 2014. Vol. 66, n° 5, p. 774-790.
- WAKEFIELD, Lorelei A., SHOFER, Frances S. et MICHEL, Kathryn E., 2006. Evaluation of cats fed vegetarian diets and attitudes of their caregivers. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2006. Vol. 229, n° 1, p. 70–73.
- WALKER, Valerie, 2014. Ammonia Metabolism and Hyperammonemic Disorders. In : *Advances in Clinical Chemistry* [en ligne]. S.l. : Elsevier. p. 73-150. [Consulté le 11 septembre 2018]. ISBN 978-0-12-802267-2. Disponible à l'adresse : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065242314000031>.
- WALL, Tim, 2017. Raw pet food growth continues despite concerns. In : *PetfoodIndustry.com* [en ligne]. 27 avril 2017. [Consulté le 21 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.petfoodindustry.com/articles/6431-tbt-raw-pet-food-growth-continues-despite-concerns>.
- WASHIZU, T., TANAKA, A., SAKO, T., WASHIZU, M. et ARAI, T., 1999. Comparison of the activities of enzymes related to glycolysis and gluconeogenesis in the liver of dogs and cats. In : *Research in Veterinary Science*. octobre 1999. Vol. 67, n° 2, p. 205-206.
- WEBER, Mickaël, 2002. *Étude de la tolérance digestive et de certains paramètres de la fonction digestive chez des chiens de différentes tailles*. Thèse de doctorat. France : Université de Nantes.
- WEESE, J. Scott, ROUSSEAU, Joyce et ARROYO, L., 2005. Bacteriological evaluation of commercial canine and feline raw diets. In : *The Canadian Veterinary Journal*. 2005. Vol. 46, n° 6, p. 513.
- WEETH, Lisa P, 2013. Home-Prepared Diets for Dogs and Cats. In : . 2013. p. 3.
- WILLIAMS, Pamela A., HODGKINSON, Suzanne M., RUTHERFURD, Shane M. et HENDRIKS, Wouter H., 2006. Lysine Content in Canine Diets Can Be Severely Heat Damaged. In : *The Journal of Nutrition*. 1 juillet 2006. Vol. 136, n° 7, p. 1998S-2000S.
- WOLTER, R. (Ecole Nationale Veterinaire d'Alfort, PEREIRA DO SOCORRO, E. et HOUDRE, C., 1998. Foecal and ileal digestibility of diets rich in wheat or tapioca starch in the dog. In : *Recueil de Medecine Veterinaire (France)*. [en ligne]. 1998. [Consulté le 18 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR1999000385>.
- XU, Jia, VERBRUGGHE, Adronie, LOURENÇO, Marta, COOLS, An, LIU, Daisy J. X., VAN DE WIELE, Tom, MARZORATI, Massimo, EECKHAUT, Venessa, VAN IMMERSEEL, Filip, VANHAECKE, Lynn, CAMPOS, Miguel et HESTA, Myriam, 2017. The response of canine faecal microbiota to increased dietary protein is influenced by body condition. In : *BMC Veterinary Research* [en ligne]. décembre 2017. Vol. 13, n° 1. [Consulté le 28 octobre 2018]. DOI 10.1186/s12917-017-1276-0. Disponible à l'adresse : <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-017-1276-0>.
- ZEMPLINI, J. et MOCK, D. M., 2003. BIOTIN | Physiology. In : CABALLERO, Benjamin (éd.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* [en ligne]. Oxford : Academic Press. p. 516-523. [Consulté le 26 juin 2018]. ISBN 978-0-12-227055-0. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012227055X001024>.

ZENTEK, J., 2009. Influence of diet composition on the microbial activity in the gastro-intestinal tract of dogs. II. Effects on the microflora in the ileum chyme. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 9 octobre 2009. Vol. 74, n° 1-5, p. 53-61.

ZEUGSWETTER, K. F., VOGELSINGER, K. et HANDL, S., 2013. Hyperthyroidism in dogs caused by consumption of thyroid-containing head meat. In : *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 1 février 2013. Vol. 155, n° 2, p. 149-152.

ZHANG, Letian, ZHONG, Cheng, WANG, Jushi, LU, Zijie, LIU, Lei, YANG, Wanlian et LYU, Yanli, 2015. Pathogenesis of natural and experimental Pseudorabies virus infections in dogs. In : *Virology Journal* [en ligne]. 18 mars 2015. Vol. 12. [Consulté le 4 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4374540/>.

ZIEGLER, Margot, 2016. Le sans-gluten poursuit son envolée. In : *lsa-conso.fr* [en ligne]. 13 janvier 2016. [Consulté le 21 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.lsa-conso.fr/le-sans-gluten-poursuit-son-envolee,228987>.

ZOOPLUS, 2018. Nourriture animaux et Accessoires animaux - Animalerie en ligne zooplus. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 5 septembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.zooplus.fr/>.

ZWIERZCHOWSKI, W, GAJĘCKI, Maciej, OBREMSKI, Kazimierz, ZIELONKA, Łukasz et BARANOWSKI, M, 2004. The occurrence of zearalenone and its derivatives in standard and therapeutic feeds for companion animals. In : *Polish journal of veterinary sciences*. 1 février 2004. Vol. 7, p. 289-93.

NOM : DILGER

PRÉNOM : CLAIRE

TITRE : LES MODES ALIMENTAIRES HUMAINES APPLIQUÉES À L'ALIMENTATION DES CARNIVORES DOMESTIQUES : ORIGINE ET ACCEPTABILITÉ.

RÉSUMÉ :

Trois nouvelles tendances alimentaires se sont plus particulièrement développées chez les carnivores domestiques : les aliments sans céréales, les rations à base de viande crue et d'os (régime BARF) et les régimes végétariens. Cette thèse a pour but de synthétiser les limites et les intérêts nutritionnels de ces différents régimes et d'en comprendre l'origine. Les croquettes sans céréales ne présentent, en l'état actuel des connaissances, ni limites ni intérêts nutritionnels particuliers comparées aux croquettes traditionnelles. Les régimes BARF, s'ils permettent une diminution des maladies parodontales, sont souvent déséquilibrés car mal conçus et constituent un risque non négligeable de transmission de zoonose. Les régimes végétariens sont difficiles à équilibrer, peu adaptés aux carnivores domestiques et nécessitent énormément d'apports synthétiques ; les effets à long terme de ce type de régime ne sont pas encore connus. Ces différents régimes sont le reflet des tendances alimentaires humaines : régime sans gluten, régime paléolithique et régime végétarien, et sont parfois totalement inadaptés aux besoins nutritionnels des carnivores domestiques.

MOTS-CLÉS : ALIMENTATION ET NUTRITION – CHATS – CHIENS – MODES EN MATIÈRE DE RÉGIME ALIMENTAIRE – RÉGIME VÉGÉTARIEN – ALIMENTS CRUS

TITLE : HUMAN FOOD TRENDS APPLIED TO DIETS OF CARNIVOROUS PETS : ORIGIN AND ACCEPTABILITY

ABSTRACT :

Three new alimentary trends have emerged in recent years in carnivorous pets: grain-free dry food, food ration based on raw meat and bone (BARF) and vegetarian food. This work is an attempt to synthesize the nutritional drawbacks and benefits of these different diets. Grain-free dry food does not have any nutritional advantages or disadvantages compared to classic dry food. BARF diet reduces periodontal diseases but is frequently unbalanced and presents significant risks of zoonosis transmission. Vegetarian diets are difficult to balance and are not suited for nutritional needs of dogs and cats. The long-term effects of these types of diet on the health of carnivorous pets are still unknown. These different types of diet are the reflection of human alimentary trends: gluten-free diets, paleolithic diets and vegetarian diets, and are sometimes totally unbalanced for dogs and cats.

KEY WORDS: DIET, FOOD AND NUTRITION – CATS – DOGS – DIET FADS –VEGETARIAN DIET – RAW FOOD