



HAL
open science

Bases de la nutrition du chien et du chat

Sébastien Lefebvre

► **To cite this version:**

| Sébastien Lefebvre. Bases de la nutrition du chien et du chat. Doctorat. France. 2020. hal-02863426

HAL Id: hal-02863426

<https://hal.science/hal-02863426>

Submitted on 10 Jun 2020

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

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



1. Bases de la nutrition du chien et du chat

Sébastien Lefebvre

1.1 Introduction

Le chien et le chat sont des carnivores au sens phylogénique (présence de carnassière). Pour ce qui est de l'alimentation en tant que telle, le point est plus complexe. Le chien est couramment présenté comme un carnivore opportuniste et le chat comme un carnivore strict. Ce terme de carnivore ne signifie pas que le régime de ces animaux doit être exclusivement centré sur une alimentation carnée, mais qu'un certain nombre de nutriments nécessaires à leur physiologie ne se trouve généralement que dans des produits carnés. Cette distinction est essentielle. De plus, produit carné ne signifie pas viande, un régime entièrement composé de viande est, de façon certaine, déséquilibré et conduit à de graves carences nutritionnelles. De l'avis de l'auteur, si le chien n'est pas un carnivore strict, il ne peut pas être considéré comme un omnivore du fait de ses besoins importants en nutriments d'origine animale : arginine^{1,2}, taurine, vitamine D³. De plus, dans la pratique vétérinaire, l'objectif n'est pas uniquement de maintenir l'animal en vie, mais aussi de lui garantir la meilleure qualité de vie en prévenant autant que possible les affections chroniques.

Pour ce faire, le but de la nutrition est de s'assurer que les apports en énergie et en nutriments de l'animal sont en accord avec ses besoins spécifiques définis par son espèce, son cadre de vie et les affections dont il peut souffrir.

Ce chapitre présente un rappel des points essentiels de la physiologie et du comportement alimentaire des carnivores domestiques, avant d'aborder les besoins en énergie et en nutriments.

Dans ce chapitre est présenté un système d'analyse des besoins, celui utilisé dans le logiciel VetNutri et dans le reste de ce livre. Plus que l'aspect calculatoire, qui peut être délégué à une machine, la philosophie des besoins et leurs limites, et les grandes notions comme le besoin énergétique à l'entretien sont à acquérir, afin de pratiquer la nutrition clinique et de pouvoir interpréter les analyses.

1.2 Éléments généraux

1.2.1 Comportement alimentaire

Le chien et le chat ont des comportements alimentaires assez différents impliquant une prise en compte distincte dans la réalisation des plans diététiques. Simplifié à l'extrême, le chat peut être présenté comme un chasseur de petite proie, avec un taux d'échec à la chasse élevé, ce qui nécessite un temps de chasse assez important chaque jour pour parvenir à couvrir ses besoins. A l'inverse, le chien est plus opportuniste, charognard ou chasseur de grande proie en groupe⁴.

Ainsi, le chien a un comportement glouton avec des prises de repas pouvant être importantes⁴. Cependant, cette capacité de prise alimentaire importante induit un risque important (surtout dans les grandes races) de syndrome de dilatation torsion de l'estomac (ce point est traité au chapitre 13). De plus, la période de satiété à la suite d'un repas n'est pas illimitée, souvent quelques heures⁵. Pour ces raisons, il est intéressant de ne pas offrir un unique repas au chien, mais plutôt 2 ou 3. Pour ce qui est de l'appétence le chien donne une valeur sociale à l'alimentation, ainsi un chien augmentera sa prise volontaire d'aliment en présence de congénères.

Pour les chats, les repas sont nombreux (10-20) et répartis sur la journée et la nuit. Actuellement, une grande réflexion est en cours sur l'alimentation du chat pour permettre un rythme d'alimentation bien plus proche de cet optimum de 10 à 20 repas. Pour l'atteindre, il est nécessaire d'offrir une ration *ad libitum* à l'animal. Or si certains chats sont capables de se réguler, de nombreux autres, notamment stérilisés, perdent cette régulation et augmentent leur prise alimentaire⁶. Ainsi, pour assurer l'équilibre comportemental des félins tout en évitant une prise alimentaire trop importante, il semble important d'enrichir l'activité de prise alimentaire du chat avec des jeux⁷. Cet enrichissement passe par des jouets distributeurs : bouteilles percées contenant des croquettes, aliment caché... Ces activités permettent d'assurer une activité physique et une occupation à l'animal, mais aussi de demander un investissement pour la prise alimentaire ce qui réduit les comportements gloutons. Cette approche, si elle fait de plus en plus consensus, nécessite d'être validée⁸. À l'inverse du chien, le chat ne donne pas de valeur sociale à l'alimentation et nécessite d'être au calme pour manger.

Le chien et le chat ont des comportements pouvant être néophiles ou néophobes vis-à-vis de l'alimentation. Un élément déterminant dans ce comportement est l'apprentissage, notamment chez le chat. Ainsi, un animal ayant une plus grande diversité alimentaire intégrera mieux un nouvel aliment qu'un animal qui a toujours été nourrit avec un même type d'aliment⁹. L'opportunité d'intégrer dans l'alimentation du jeune chat un minimum de diversité doit être évaluée au regard des options diététiques qui pourraient être mises en œuvre en cas d'affection (passage à une alimentation humide, intégration de légumes comme des courgettes...). Il est à noter que cet apprentissage peut aussi aboutir à des aversions alimentaires, si l'animal fait l'association entre un aliment, un goût ou une odeur et une mauvaise expérience (maladie, contrainte physique...) ¹⁰. Enfin, l'appétence peut être augmentée, sans modifier la composition de la ration, en humidifiant l'aliment, en augmentant sa température (20-37°C) et, chez le chien, en présentant l'aliment à la main, ce qui augmente sa valeur sociale.

1.2.2 Idiosyncrasies métaboliques du chat

Le fait que le chat soit un carnivore strict est, en partie, dû à ses particularités métaboliques. Il s'est spécialisé dans une alimentation carnée. Ainsi, le chat a perdu certaines capacités d'adaptation qu'ont, entre autres, les omnivores ou des carnivores comme le chien qui est moins spécialisé. Ici, nous vous proposons de présenter quelques idiosyncrasies du chat.

Le **besoin protéique** total du chat est plus élevé que la plupart des animaux du fait d'une incapacité de celui-ci à moduler l'activité enzymatique des aminotransférases et du cycle de l'urée¹¹.

Cependant, même si ces activités ne peuvent être adaptées de la même façon que les autres espèces, le chat arrive à adapter son catabolisme protéique à la quantité de protéines ingérées, à condition qu'une quantité minimale de protéines soit apportée¹². De plus, les enzymes médiant les premières étapes du catabolisme des acides aminés essentiels sont modulables¹³. Ainsi, ceux-ci sont "protégés" du catabolisme. Cela explique que le besoin en acide aminé du chat ne soit pas significativement différent de celui des autres espèces.

Le besoin en **arginine** est particulièrement important chez le chat et pas uniquement pour la synthèse protéique. En effet, l'arginine permet la formation d'un autre acide aminé non protéinogène, l'ornithine, impliqué dans le cycle de l'urée. Chez la plupart des mammifères, l'ornithine est synthétisée *de novo* dans la muqueuse intestinale. Cependant, cette voie de synthèse est très limitée chez le chat¹⁴. Par conséquent, l'arginine est la seule source d'ornithine pour le bon fonctionnement du cycle de l'urée, ce qui augmente son besoin¹⁰.

La **niacine** est une vitamine du groupe B (B3) synthétisée à partir du tryptophane. Chez le chat, une étape de cette synthèse est en compétition défavorable avec la synthèse d'acide picolinique. Cela augmente le besoin en vitamine B3 d'origine alimentaire¹⁵. Cette vitamine est présente en grande quantité dans les produits carnés. Concernant les autres vitamines, le chat possède aussi des limites dans la production des **vitamines A et D** à partir de pro-vitamine d'origine végétale. De plus, il a aussi des difficultés dans la synthèse des acides gras oméga 3 et 6 à vingt carbones (acide arachidonique...) à partir de ceux à dix-huit carbones (acide linoléique...).

1.3 La solution optimale

Une question revient souvent en consultation : "quelle est la meilleure alimentation pour mon animal?". Cette question d'apparence simple met en exergue le fait que la nutrition n'est pas une matière théorique et qu'il est nécessaire de la confronter à la pratique. Une solution peut paraître parfaite sur le papier, mais être un échec dans la pratique. Ainsi chaque plan diététique doit être analysé au regard des du trépied suivant :

- **Physiologie et physiopathologie.** Le plan diététique est-il en accord avec ce que l'on sait de la maladie et des besoins de l'animal ? Quand des éléments de nutrition basée sur les preuves existent, ont-ils été pris en compte ?
- **L'animal.** L'animal mange-t-il l'aliment proposé ? Sa réponse au plan diététique est-elle conforme aux attentes ?
- **Le propriétaire.** A-t-il les moyens de mettre en place le plan diététique (finances, motivations, contraintes) ? L'observance du plan est-elle bonne ?

De nombreux critères du trépied ne sont pas évaluables à la première consultation, ce qui introduit le second point essentiel de la nutrition clinique, c'est une **pratique itérative**. Les **animaux doivent être suivis** et le plan diététique **adapté** pour vérifier qu'ils soient le compromis optimal entre les piliers du trépied.

Par conséquent, en nutrition les recettes sont à proscrire et les stratégies doivent être adaptées pour chaque animal afin d'avoir une chance d'être efficaces.

1.4 Les besoins

La notion de besoin, si elle nous semble facile d'accès dans un premier temps est, dans les faits, beaucoup plus complexe à définir. Le pendant du besoin est la question du but que ce besoin doit permettre d'atteindre. Dans quel but avons-nous ce besoin ? Et comment objectiver l'atteinte de ce

but ? Une première approche peut être de dire que quand le besoin n'est plus couvert, l'animal ne peut plus assurer ses fonctions physiologiques à plus ou moins long terme. C'est, dans ce cas, un besoin minimum vital, relativement simple à étudier.

Mais l'alimentation va au-delà de juste maintenir un animal vivant. Nous souhaitons aussi que nos compagnons vivent le plus longtemps et en meilleure santé possible. Ainsi, l'alimentation cherche à prévenir certaines affections et à réduire les risques de survenue d'autres. Enfin, d'autres objectifs peuvent s'ajouter : avoir un beau pelage, de bons indicateurs de reproduction, de bons résultats sportifs... Ces objectifs peuvent nous permettre de définir de nouveaux besoins plus difficiles à étudier, car ils impliquent le plus souvent un temps d'études plus long et il n'est pas toujours facile de les objectiver. Ces besoins, que l'on peut qualifier d'optimum, sont le plus souvent issue d'opinions d'expert. Les tableaux 16.1 et 16.2 en annexes vous présentent les besoins minimums et optimums. Il est à noter que, dans de nombreux cas, des minimums n'ont pas été définis par des études, mais cela ne signifie pas qu'ils n'existent pas.

L'analyse des besoins doit être modulée en fonction de 3 paramètres, l'intensité, le temps et la qualité. Tout d'abord l'intensité, il est évident que la réponse à une carence de faible intensité ne sera pas la même qu'à celle d'une carence beaucoup plus forte, que ce soit sur le délai d'apparition des signes cliniques que sur leur intensité. Ensuite, la temporalité de la carence est aussi à prendre en compte, dans certains cas une carence peut être tolérée pendant plusieurs jours ou mois (cela dépend des réserves de l'individu). C'est à la fois un avantage et un inconvénient. Un avantage car cela permet de faire dans des cas particuliers et de façon temporaire, des rations déséquilibrées en certains nutriments (régimes d'exclusion par exemple). Cependant, cela peut donner l'impression qu'il n'est pas nécessaire d'équilibrer une ration. Or, quand les symptômes de carences commencent à apparaître, il est souvent trop tard. L'adage en nutrition est : la nutrition tue lentement. Il est par conséquent essentiel d'avoir une bonne pédagogie pour éviter les carences. Enfin, le dernier élément est la qualité du nutriment en question. En effet, si le nutriment a une mauvaise digestibilité ou n'est pas dans une forme facilement utilisable, il est alors nécessaire d'apporter plus de ce type de nutriment que ce qui est prévu par le besoin.

S'il existe un besoin, il existe aussi pour certains nutriments une toxicité définissant alors une valeur maximale à ne pas dépasser. Sans aller jusqu'à une toxicité, des apports trop importants en certains nutriments peuvent augmenter le risque de certaines affections ou avoir des effets contraires à ce qui est recherché, c'est ce qui nous permet de définir la borne haute de l'optimum. Comme pour la borne basse celle-ci est surtout une opinion d'expert. En nutrition, comme ailleurs, il est vivement déconseillé, même en absence de données, d'aller dans les extrêmes.

1.4.1 Besoin énergétique

Le besoin énergétique est un besoin fondamental, qui est souvent le premier que l'on cherche à couvrir ou à limiter avec une ration. C'est l'un des besoins qui doit être le plus finement couvert. En effet, si ce besoin n'est pas suffisamment ou trop couvert, cela aboutit à des modifications du poids et de la note d'état corporel. On peut noter que chez les carnivores domestiques une part importante de la population est en surpoids. Les études rapportent une prévalence du surpoids de 40% et de l'obésité de 20% chez le chien médicalisé et cela, quel que soit l'étude ou le pays¹⁶⁻¹⁸. Ce qui laisse penser à une mauvaise adéquation entre le besoin énergétique et l'apport énergétique.

La **détermination** du besoin énergétique ne peut se faire qu'avec **un suivi** du poids et de la note d'état corporel (NEC). Cependant, pour des raisons pratiques et d'analyse, il est possible d'estimer le besoin énergétique par des modèles. Ici nous vous présenterons une méthode mais d'autres existent.

Chez les carnivores domestiques, le besoin énergétique est exprimé en énergie métabolisable.

Note d'état corporel

La note d'état corporel (NEC) est, avec le poids, le meilleur indicateur pratique pour estimer la part de masse grasse de l'animal. L'accès à cette masse grasse permet 1) d'évaluer si la ration actuelle couvre trop ou pas suffisamment les besoins de l'animal, notamment énergétique, 2) d'estimer la part de masse maigre pour corriger les apports. En effet, l'activité métabolique de la masse grasse étant faible, les besoins en nutriments et en énergie sont habituellement calculés en prenant en compte uniquement la masse maigre, ou le poids idéal dont on considère que 80% est constitué de masse maigre et 20% de masse grasse. En effet, si le poids réel est utilisé alors que l'animal est en surpoids, une part de sa masse grasse est alors considérée comme de la masse maigre ce qui gonfle artificiellement ses besoins.

La méthode de référence pour déterminer le pourcentage de masse grasse est l'absorptiométrie biphotonique à rayons X (Dual x-ray absorptiometry, **DEXA**). Cependant, le coût de l'appareillage, la nécessité de sédation de l'animal, le temps de réalisation et la présence de rayons ionisants (même si plutôt faibles) aboutissent à un rapport-bénéfice/(risques + coût) négatif. Des méthodes moins onéreuses et réalisables par tout vétérinaire ont été mises au point. Celle qui apporte les meilleurs résultats avec une excellente corrélation avec le DEXA aussi bien chez le chien que chez le chat est la note d'état corporelle¹⁹⁻²³. Cette note d'état corporelle est issue de l'observation de l'animal objectivée avec une grille (présentée dans le tableau 1.1). Le score idéal est le score central (3/5 ou 5/9). La notation sur 9 est la plus couramment utilisée et, quand elle est bien réalisée, la plus fiable. De l'avis de l'auteur, le score sur 5 est surtout utile pour une estimation approximative et rapide de la NEC (sans le respect exact des critères de la grille). L'adéquation entre la NEC et le pourcentage de masse grasse est moins bonne dans certaines races²³. Ainsi, pour une même NEC, les lévriers ont tendance à avoir moins de pourcentage de masse grasse et les chiens nordiques plus.

D'autres méthodes existent pour estimer la masse grasse comme la morphométrie, l'impédancemétrie...²⁴

Il est possible d'estimer le poids idéal à partir de la note d'état corporel sur 9 avec l'équation 17.17. C'est ce poids qui est utilisé par la suite pour les calculs car il reflète le mieux la masse maigre de l'animal.

$$\text{Poids idéal (kg)} = \text{Poids actuel} * \frac{100}{(100 + (NEC - 5) * 10)} \quad (1.1)$$

NEC/9	NEC/5	Chien	Chat
1	1	Les côtes, la colonne vertébrale et les os des hanches sont visibles de loin. Aucune graisse corporelle discernable et une perte évidente de masse musculaire.	Côtes visibles sur les chats à poils courts; pas de graisse palpable; abdomen fortement replié; vertèbres lombaires et ailes des iliaques évidentes et facilement palpables
2		Les côtes, la colonne vertébrale et les os des hanches sont facilement visibles. Pas de graisse corporelle palpable et une perte minimale de masse musculaire.	Caractéristiques communes des scores 1 et 3.
3	2	Les côtes sont facilement palpables et peuvent être visibles sans graisse palpable. Le haut de la colonne vertébrale est visible et les os des hanches peuvent également être proéminents.	Des côtes facilement palpables avec une couverture de graisse minimale; vertèbres lombaires évidentes; taille évidente derrière les côtes; graisse abdominale minimale.
4		Les côtes peuvent être facilement ressenties avec une couverture de graisse minimale. La taille est facile à noter lorsqu'on la regarde de haut. On observe également un "repli abdominal", c'est-à-dire que l'abdomen semble replié derrière la cage thoracique lorsqu'on le regarde de côté.	Caractéristiques communes des scores 3 et 5.
5	3	Côtes palpables sans un excès de graisse. Taille observée derrière les côtes lorsqu'il est vu de haut. Abdomen rentré lorsqu'il est visionné.	Bien proportionné; taille observée derrière les côtes; côtes palpables avec une légère couverture de graisse; coussinet adipeux abdominal minimal.
6		Les côtes sont perceptibles à travers un léger excès de graisse. La taille est visible de dessus, mais pas proéminente. La ceinture abdominale est présente.	Caractéristiques communes des scores 5 et 7.
7	4	Les côtes sont difficiles à sentir sous une épaisse couche de graisse. Dépôts de graisse visibles sur le bas du dos et la base de la queue. La taille est absente ou à peine visible et l'abdomen peut paraître visiblement arrondi ou affaissé.	Côtes difficilement palpables avec une couverture adipeuse modérée; taille peu discernable; arrondi évident de l'abdomen; coussinet adipeux abdominal modéré
8		Les côtes ne peuvent être ressenties qu'avec une forte pression. D'importants dépôts de graisse sur le bas du dos et la base de la queue. La taille et l'abdomen sont tous deux absents. Une distension abdominale évidente peut également être présente.	Caractéristiques communes des scores 7 et 9.
9	5	Les côtes ne peuvent pas être senties sous une très lourde couverture de graisse. De gros dépôts de graisse sont visibles sur le cou, la poitrine, la colonne vertébrale et la base de la queue. La taille et l'abdomen sont tous deux absents. Une distension abdominale évidente et un dos large et plat peuvent également être présents.	Côtes non palpables sous une forte couverture adipeuse; importants dépôts de graisse sur la région lombaire, le visage et les membres; distension de l'abdomen sans taille; vaste coussinet adipeux abdominal.

TABLE 1.1: Note d'état corporel du chien et du chat^{19,20}.

Besoin énergétique à l'entretien

Avant de considérer le besoin énergétique de l'animal, il est important de noter que chaque individu est différent et que le besoin de l'animal dépend la fois du poids, de la race, du mode de vie, de l'état physiologique de l'animal et de la température de l'environnement. Réaliser un modèle d'étude intégrant toutes ces variables est difficile. Ainsi, dans un premier temps, une seule de ces variables peut être étudiée, celle qui a le plus d'influence : le poids. Attention, le poids utilisé ici est

le poids idéal.

Ensuite, il faut définir une population adulte standard et déterminer quel est son besoin énergétique et comment celui-ci évolue avec le poids. L'équation obtenue dépend fondamentalement de la population étudiée et, par conséquent, de comment a été défini cet animal standard. Le besoin énergétique ainsi déterminé peut être défini comme le besoin énergétique à l'entretien. Ce besoin énergétique n'est pas en relation linéaire avec le poids. En effet, plus l'animal est grand plus la proportion de sa masse avec une activité métabolique est faible, au profit de la masse osseuse, et moins la perte d'énergie sous forme de chaleur est forte²⁵⁻²⁸. Ainsi, on obtient des équations de besoin énergétique à l'entretien de forme $c * P^\alpha$, où "c" est une constante et P^α est le poids métabolique.

Dans ce livre, nous prendrons comme références les besoins énergétiques à l'entretien tels qu'ils sont définis par l'édition de 2006 du "Nutrient requirements of dogs and cats"²⁹, mais d'autres équations existent³⁰⁻³⁴. Les équations sont présentées ci-dessous 1.2 et 1.3. Dans ce cadre, l'animal standard est défini comme tel^a il n'a pas de race particulière, il est entier, vie en milieu tempéré proche de sa neutralité thermique, il est sain, son environnement est suffisamment enrichi pour lui permettre d'avoir une activité physique (3 h par jour pour les chiens) et exprimer ses comportements physiologiques.

L'auteur tien à attirer l'attention sur deux éléments utiles pour la suite : 1) le BEE est proportionnel avec le poids métabolique, soit $P_{ideal}^{0,67}$ pour le chat et $P_{ideal}^{0,75}$ pour le chien ; 2) du fait de sa définition restrictive dans la grande majorité des cas le BEE est différent du besoin énergétique d'un individu.

$$BEE_{chat}(kcal) = 100 * P_{ideal}^{0,67} \quad (1.2)$$

$$BEE_{chien}(kcal) = 130 * P_{ideal}^{0,75} \quad (1.3)$$

Estimation du besoin énergétique

Le besoin énergétique à l'entretien est une mauvaise estimation du besoin énergétique. Pour estimer ce dernier, les données individuelles qui ont été négligées lors de la détermination du BEE doivent être intégrées. Ainsi, le BEE est modulé par 5 coefficients : race (k_1), comportement (k_2), statut physiologique (k_3), pathologie (k_4) et température de l'environnement (k_5), afin d'estimer au mieux le besoin énergétique (BE) de l'animal. Le coefficient dépendant de l'état physiologique ne sera traité que partiellement et le coefficient dépendant des affections ne sera pas traité ici. Par convention, on peut aussi déterminer K, le coefficient global produit des 5 autres (equation 1.4).

$$\begin{aligned} BE(kcal) &= k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * BEE \\ &= K * BEE \end{aligned} \quad (1.4)$$

Les races, par la sélection de certains traits phénotypiques, ont induit, des modifications quant au métabolisme énergétique. Cela a conduit à un besoin énergétique plus ou moins important en fonction de la race³⁴⁻³⁶. Les valeurs que peut prendre ce coefficient sont résumées dans le tableau 1.2. A la connaissance de l'auteur, des coefficients raciaux pour le chat n'ont pas encore été déterminés.

L'activité physique est un facteur important dans le calcul du besoin énergétique, l'équation de BEE pose le postulat d'une activité de 3h par jour pour un chien. En effet, c'est une activité normale

^a. Cette définition a été écrite lors du confinement, d'après les souvenirs de l'auteur qui n'avait pas emporté le livre du National Research Council avec lui

Races	Valeur du coefficient racial
Races nordiques, retriever ou terre neuve	0,8
Beagle ou cocker	0,9
Lévrier ou dogue argentin	1,1-1,2
Autres races	1

TABLE 1.2: Valeur du coefficient race k_1 ³⁷

pour un chien en communauté et dans un environnement suffisamment enrichi. Or, tout comme dans la population humaine, il y a une augmentation de la sédentarisation et il est de plus en plus rare d'arriver à cette durée d'activité.

Le propriétaire est l'élément déterminant qui définit en grande partie l'activité du chien. Le nombre de chiens en milieu urbain ou périurbain est de plus en plus important. Or, pour ces animaux, l'activité physique est souvent restreinte aux sorties hygiéniques. Le chien a aussi une influence sur l'activité physique humaine, de nombreuses études rapportent que la possession d'un chien l'augmente significativement^{38,39}.

L'âge et la race sont aussi deux éléments pouvant moduler l'activité⁴⁰. L'activité physique d'un chien, sans intervention humaine, diminue en moyenne de 8% par an et jusqu'à 26% par an pour les activités les plus intenses⁴⁰. Des diminutions comparables ont été observées chez l'humain, où l'âge est l'élément le plus décrit comme influençant l'activité physique^{41,42}. Les valeurs à appliquer pour adapter la ration aux besoins énergétiques sont indiquées dans le Tableau 17.6.

Pour le chat, l'estimation de l'activité est bien plus complexe. Dans un environnement intérieur, l'activité est souvent bien moins importante et le risque d'obésité plus élevé. Cependant, pour assurer le bien-être de l'animal, l'objectif devrait être d'enrichir suffisamment son environnement et par ce biais d'augmenter son activité⁷. L'auteur propose de commencer par un coefficient k_2 de 1 avec les chats, ce coefficient sera par la suite réévalué.

Activité	Coefficient d'activité physique
Léthargie (quasi-absence d'activité)	0,7
Sédentaire (moins de 1h/jour)	0,8
Calme (1-2h/jour)	0,9
Normal (3h/jour)	1
Actif (>3h/jour)	1,1
Agility	1,1-1,25
Field trial	1,2-1,5
Garde de troupeau	1,5-2
Chasse	1,5-3

TABLE 1.3: Valeur du coefficient d'activité pour le chien k_2

Le statut physiologique de l'animal (stérilisé, en croissance, en gestation, en lactation, âgé) modifie le besoin énergétique. Ne seront traités dans ce chapitre que les cas d'animaux stérilisés ou âgés. Pour le cas de l'animal âgé comme vu précédemment, il y a une baisse de l'activité physique, mais aussi du métabolisme général. Pour le cas des chiens stérilisés ce sont l'arrêt du

métabolisme hormonal premièrement et la baisse d'activité secondairement qui diminuent le besoin énergétique^{30,32,33,43}. Concernant le chat, la diminution du métabolisme n'est pas observée quand le métabolisme basal est rapporté à la masse maigre²⁴. Cependant, la prise volontaire d'aliments a plutôt tendance à augmenter⁴⁴⁻⁴⁷. Ainsi de l'avis de l'auteur un coefficient d'état physiologique peut tout de même être appliqué au chat pour limiter la prise de poids.

Physiologie	Coefficient du statut physiologique
Normal	1
Stérilisé	0,8
Âgé	0,8-0,9

TABLE 1.4: Valeur du coefficient physiologique pour le chien et le chat k_3

L'homéostasie thermique des homéothermes est à l'origine d'une importante dépense énergétique. En dehors de la zone de neutralité thermique de l'animal (dépendant de la race et de l'individu), celui-ci doit dépenser de l'énergie afin de maintenir sa température, ce qui augmente son besoin énergétique. Ce facteur est rarement pris en compte pour un animal vivant à l'intérieur, mais il convient de le considérer pour les chiens vivants à l'extérieur. Bien que des équations existent pour déterminer le coefficient k_5 , considérant l'ensemble des éléments nécessaires pour le déterminer (température moyenne, durée d'exposition, race...) qui aboutissent à une grande variabilité, l'auteur le détermine avec le suivi.

Le besoin énergétique en pratique

L'estimation du besoin énergétique est une étape de départ de l'analyse et de la création de rations. Cependant cela ne doit pas devenir une fin en soi. En effet, cette estimation mathématique du besoin énergétique peut être parfois éloignée du besoin énergétique réel. **Seul le suivi** permet de corriger K à la hausse ou à la baisse, afin de déterminer le BE. Quand un animal est vu pour la première fois, l'attribution d'un K inférieur à 0,5 (ce qui correspond à trois coefficients à 0,8) est à éviter, cependant aucune limite n'est appliquée lors du suivi.

Dans le cas d'un animal adulte en bonne santé avec une ration stable et ayant une NEC optimale son besoin énergétique est l'apport énergétique qu'il reçoit présentement. Dans ce cas le K de l'équation doit être modifié pour correspondre au K observé.

Dans le cadre des aliments commerciaux, c'est le besoin énergétique qui définit la quantité d'aliment par la formule 1.5. Dans cette équation la densité énergétique est en kcal pour 100g d'aliment. Cette densité énergétique (DE) est préférentiellement déterminée par la méthode présentée dans le tableau 3.2 du chapitre 3 sur la bromatologie des aliment commerciaux.

$$\text{Quantité d'aliment (g)} = \frac{100 * BE}{DE} \quad (1.5)$$

1.4.2 Expressions des besoins en nutriments

Afin de déterminer si une ration répond aux besoins de l'animal, il est nécessaire de connaître les apports de la ration. Pour cela, il faut calculer la quantité de chacun des nutriments ingérés par l'animal et de la rapporter à son poids. Comme pour le BEE, et pour les mêmes raisons, les apports

en nutriments se calculent par rapport au poids métabolique soit $P_{ideal}^{0,67}$ pour le chat et $P_{ideal}^{0,75}$ pour le chien (équation 1.6).

$$\text{Apport en nutriment (g/kg de poids métabolique)} = \frac{\% \text{ du nutriment} * \text{Quantité d'aliment}}{100 * \text{Poids métabolique}} \quad (1.6)$$

Cependant, avec un calcul des apports en fonction du poids métabolique il est difficile, en étudiant un aliment, de déterminer à l'avance ce qu'il va apporter à l'animal. Comme nous le verrons dans le chapitre 3 sur les aliments commerciaux, pour comparer deux aliments entre eux, la meilleure méthode est d'utiliser leur rapport calorique (RC) pour le nutriment considéré (équation 3.1). A présent, si au lieu de déterminer l'apport en nutriment par rapport au poids métabolique, nous le déterminons par rapport au BEE, qui est proportionnel au poids métabolique (à noter que, par convention, ce sont des Mcal qui sont utilisés et non des kcals dans les calculs d'apport et de rapport calorique) on a alors :

$$\text{Apport en nutriment (g/Mcal de BEE)} = \frac{\% \text{ du nutriment} * \text{Quantité d'aliment}}{100 * BEE} \quad (1.7)$$

A présent essayons de relier cette équation au RC de l'aliment pour le nutriment étudié. La quantité d'aliment est définie par l'équation 1.5, en l'intégrant à notre équation 1.7 on obtient alors :

$$\begin{aligned} \text{Apport en nutriment (g/Mcal de BEE)} &= \frac{\% \text{ du nutriment} * \frac{100 * BE}{DE}}{100 * BEE} \\ &= \frac{\% \text{ du nutriment}}{DE} * \frac{BE}{BEE} \end{aligned} \quad (1.8)$$

La formule du rapport calorique du nutriment 3.1 apparaît, et la division BE sur BEE vaut K (équation 1.4). Ce qui nous permet de conclure :

$$\text{Apport en nutriment (g/Mcal de BEE)} = \text{RC du nutriment} * K \quad (1.9)$$

Ainsi, en connaissant uniquement K et le rapport calorique de l'aliment pour le nutriment, il est possible de déterminer l'apport en nutriment permis par un aliment. De même, avec un besoin minimum en un nutriment en g/Mcal de BEE, il est possible de déterminer le rapport calorique minimum en ce nutriment que doit avoir notre aliment pour couvrir ce besoin :

$$\text{RC minimal du nutriment recherché} \geq \frac{\text{Apport minimal en nutriment (g/Mcal de BEE)}}{K} \quad (1.10)$$

De l'équation 1.10, il est possible de déduire les grandes lignes qui devront guider le praticien lors de son choix d'aliment. Ainsi, plus le **K est petit**, plus l'aliment recherché devra être "**concentré**" **en nutriments essentiels** par rapport à sa densité énergétique. Ce résultat n'est pas surprenant, par exemple pour un chien sédentaire et stérilisé $K=0,64$, cela implique que pour maintenir son poids, il doit ingérer 36% d'énergie en moins que le chien standard afin de couvrir son besoin énergétique. Or le besoin de ce chien en nutriments n'est pas diminué, il a besoin de toujours autant d'acides aminés, de vitamines et de minéraux. Par conséquent pour éviter les carences, il est nécessaire de donner un aliment 1,56 ($\frac{1}{0,64}$) fois plus concentré en ces nutriments par rapport à l'énergie. C'est le cas avec les

aliments dits pour animaux stérilisés, qui sont moins denses en énergie et ont des rapports caloriques en nutriments supérieurs à ceux des aliments de base pour compenser le coefficient $k_3 = 0,8$ et souvent aussi $k_2 = 0,8$, pour la sédentarité.

Ainsi, dans le reste du chapitre et du livre les apports sont exprimés en g/Mcal de BEE. Attention à ne pas confondre les rapports caloriques des nutriments de l'aliment et les apports en nutriments qui sont exprimés en g/Mcal de BEE.

1.4.3 Besoin en macronutriments

Les trois macronutriments, en plus de leur importance physiologique qui est discutée plus bas, permettent d'apporter de l'énergie. Ainsi, la diminution de la participation à l'apport énergétique d'un de ces nutriments doit être compensée par les deux autres.

Les protéines

Nonobstant l'énergie, les protéines sont la source des acides aminés essentiels. Ainsi, la quantité brute de protéines n'a que peu d'importance si les acides aminés essentiels sont fournis en quantité suffisante. Or, cet apport en acide aminé essentiel dépend beaucoup de l'origine des protéines et de leur qualité. La figure 1.1 pointe le fait que les aliments carnés de bonne qualité (viande, certains abats...) fournissent de bien meilleures protéines que les aliments carnés bas de gamme, qui eux contiennent du cartilage et/ou du collagène qui sont carencés en certains acides aminés en plus d'être peu digestibles. Pour les sources végétales, il existe une grande disparité. Certaines protéines, comme celles de soja, ont de meilleurs profils d'acides aminés que les protéines animales. Pour les aliments complets, la qualité de l'aliment dépend du choix de l'origine protéique. De plus, il est possible en choisissant des sources de protéines complémentaires d'améliorer la capacité de la protéine de l'aliment à couvrir le besoin en acides aminés. Cependant cette capacité à couvrir le besoin doit être modulée par la digestibilité des protéines utilisées.

Pour les tableaux 16.1 et 16.2, la valeur minimale en protéines pour le chien correspond à la protéine idéale (20g/Mcal) et pour le chat à la quantité minimale de protéines (40g/Mcal) qui doit être fournie en accord avec ses particularités métaboliques^{12,29}. Les valeurs recommandées en protéines (60g/Mcal pour le chien et 70-80g/Mcal pour le chat) correspondent à la quantité de protéines à apporter si on considère une protéine de digestibilité et de valeur biologique moyenne. Ainsi cette recommandation doit être nuancée en fonction de la qualité des protéines ingérées par l'animal.

Le rapport calorique en protéines d'un aliment peut aussi s'appeler rapport protidocalorique (RPC).

Les matières grasses

Les matières grasses sont une excellente source d'énergie du fait de leur densité énergétique deux fois supérieure aux autres macronutriments. Il est important de ne pas en apporter trop, car elles "diluent" dans l'énergie les autres nutriments en augmentant la densité énergétique de l'aliment, ce qui peut entraîner des carences. De plus, un apport trop important en matière grasse peut induire ou favoriser une pancréatite⁴⁸⁻⁵⁰.

En plus de la quantité totale en lipide, il est nécessaire d'apporter à l'animal suffisamment d'acides gras essentiels, oméga 3 et oméga 6 en C18 (Acide linoléique et α -linoléique) pour le chien et en C18 et C20 (Acide arachidonique et eicosapentaénoïque) pour le chat. Ces acides gras étant impliqués dans l'accompagnement de nombreuses affections (cutanées, immunitaires...) ils sont détaillés dans d'autres chapitres.

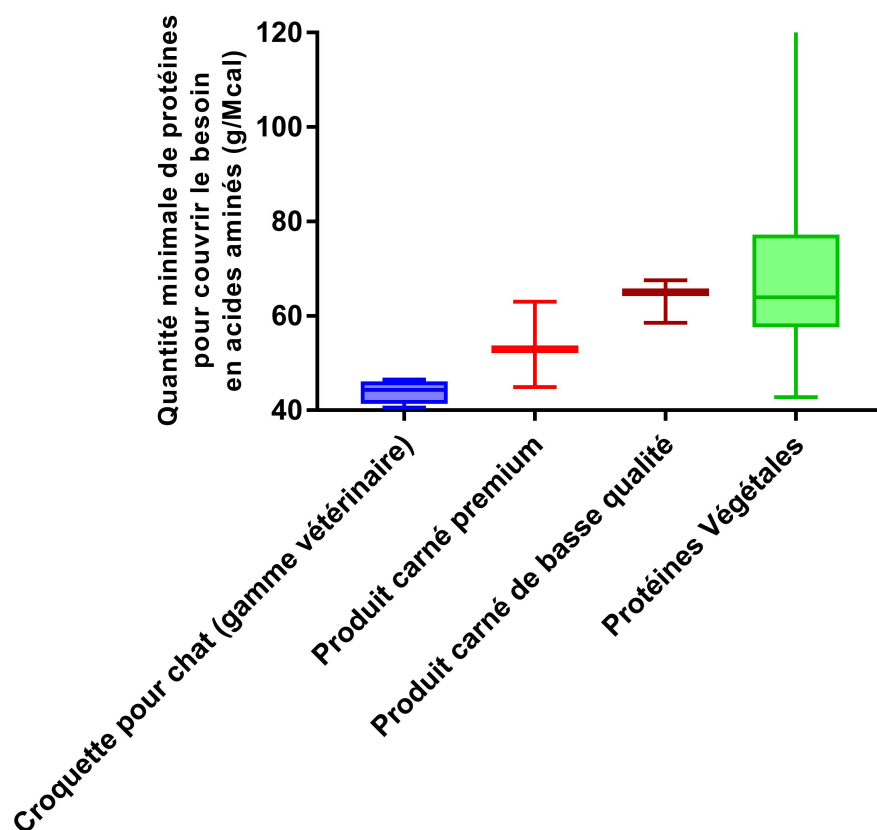


FIGURE 1.1: Apport protéique (g/Mcal) minimal pour couvrir le besoin en acides aminés, selon la source de protéines.

1.4.4 Besoins en minéraux et oligoéléments

En plus de prendre en compte la quantité des oligoéléments et des minéraux apportés à l'animal, les interactions entre eux doivent aussi être évaluées dans l'analyse de la ration.

Le calcium et le phosphore sont régulés par les mêmes hormones et interagissent entre eux dans le tube digestif⁵¹. Si un aliment contient moins de calcium que de phosphore (rapport phosphocalcique <1), la digestibilité du phosphore augmente, ce qui exacerbe la quantité de phosphore absorbée par rapport à celle du calcium⁵². L'apport excessif en phosphore en absence de calcium induit une hypocalcémie qui stimule, en réponse, une sécrétion de parathormone. Si ce déséquilibre persiste, une déminéralisation osseuse ou, lors de la croissance, un défaut d'ostéogenèse peut survenir⁵³ (affection appelée hyperparathyroïdie secondaire à l'alimentation). Par conséquent le rapport phosphocalcique doit être maintenu supérieur à 1 et de préférence inférieur à 2. De plus, les chiens comme les chats n'adaptent pas la digestibilité du calcium pour répondre à une teneur basse ou haute de leur alimentation [54, 55]. Cela explique en partie le besoin en calcium bien supérieur de ces espèces par rapport à l'homme. Et par conséquent, la nécessité de compléter les rations ménagères.

Une quantité de calcium trop importante peut réduire la digestibilité des oligoéléments comme

le zinc ou le magnésium⁵⁶. Les oligoéléments peuvent interagir entre eux, notamment les ions métalliques divalents (fer, cuivre, zinc, magnésium...) qui ont des transporteurs communs. Ainsi, un excès en fer ou en zinc peut induire une carence en cuivre⁵⁷. Outre les carences, la plupart des oligoéléments ont aussi une toxicité (notamment le cuivre), il est essentiel d'évaluer l'impact des suppléments (quand il y en a) sur l'apport total en oligoélément.

1.5 Conclusion

La pratique de la nutrition, par l'importance du nombre d'indicateurs et de données à analyser, a tendance à effacer les considérations comportementales et diététiques. La clef de la réussite dans cette matière est, tout en comprenant l'intérêt et les limites des données, d'en extraire l'essentiel et de se concentrer sur l'animal afin de mettre en place une solution pratique.

1.6 Exercices

Exercice 1.1 A réaliser sans logiciel.

Considérons un chien labrador mâle de 4 ans, stérilisé et sédentaire de 35 kg (NEC 7/9). Dans cet exercice le but n'est pas de lui faire perdre du poids.

Aliments

Aliment A : Densité énergétique = 390kcal/100g ; Rapport calorique du phosphore = 0.9 g/Mcal

Questions

- Calculer son BEE.
- Calculer son BE.
- Quelle quantité d'aliment A doit être donnée pour couvrir le besoin énergétique ?
- Quel est l'apport de l'aliment A en phosphore ? (réponse en g/Mcal de BEE)
- Quel Rapport calorique en fer devrait avoir au minimum l'aliment pour couvrir le besoin recommandé du chien ?

Exercice 1.2 Fiona est une Yorkshire femelle non stérilisée de deux ans et demi, pesant 2 kg. Elle vous est présentée en consultation, en raison d'une perte de dents depuis quelques mois.

Alimentation actuelle

- 75 g de steak haché à 15% de MG
- Une demi-cuillère à café d'huile d'olive

Informations complémentaires

- Fiona est sédentaire, elle a environ 30 minutes d'activités (sorties) par jour.
- La propriétaire de Fiona souhaite continuer à la nourrir avec une ration ménagère.

Questions

- Quel est votre avis sur l'alimentation actuelle de Fiona ? Peut-elle expliquer les symptômes ?
- Quelle alimentation proposeriez-vous à la propriétaire ?
- Quels conseils donneriez-vous à la propriétaire ?

Exercice 1.3 Hector est un chat mâle castré de 3 kg. Le propriétaire vient en consultation pour s'assurer que l'alimentation d'Hector est adaptée.

Alimentation actuelle

- 35 g de Royal Canin VetCare adult cat sec

Informations complémentaires

- Hector est un chat d'intérieur peu actif
- Il réclame souvent à manger, mais le propriétaire ne lui donne pas plus par peur qu'il prenne du poids
- Le propriétaire ne souhaite pas cuisiner pour son chat

Questions

- Quel est votre avis sur l'alimentation actuelle ? Quels seraient les points à améliorer ?
- Quelle alimentation proposeriez-vous au propriétaire ?
- Quels conseils donneriez-vous au propriétaire ?

1.7 Références

- [1] Young Hee HA, John A. MILNER et James E. CORBIN. "Arginine Requirements in Immature Dogs". In : *J Nutr* 108.2 (1^{er} fév. 1978), pages 203-210. ISSN : 0022-3166. DOI : 10.1093/jn/108.2.203 (cf. page 13).
- [2] G. L. CZARNECKI et D. H. BAKER. "Urea Cycle Function in the Dog with Emphasis on the Role of Arginine". In : *J. Nutr.* 114.3 (mar. 1984), pages 581-590. ISSN : 0022-3166. DOI : 10.1093/jn/114.3.581. pmid : 6699739 (cf. page 13).
- [3] K. L. HOW, H. A. W. HAZEWINKEL et J. A. MOL. "Dietary Vitamin D Dependence of Cat and Dog Due to Inadequate Cutaneous Synthesis of Vitamin D". In : *General and Comparative Endocrinology* 96.1 (1^{er} oct. 1994), pages 12-18. ISSN : 0016-6480. DOI : 10.1006/gcen.1994.1154 (cf. page 13).
- [4] Hermann BOURGEOIS et al. "Dietary Behavior of Dogs and Cats". In : *Bul. de l'Ac. Vét. de France* 1 (2006), page 301. ISSN : 0001-4192. DOI : 10.4267/2042/47848 (cf. page 14).
- [5] Alexander J. GERMAN et al. "A High Protein High Fibre Diet Improves Weight Loss in Obese Dogs". In : *The Veterinary Journal* 183.3 (1^{er} mar. 2010), pages 294-297. ISSN : 1090-0233. DOI : 10.1016/j.tvjl.2008.12.004 (cf. page 14).
- [6] M. J FETTMAN et al. "Effects of Neutering on Bodyweight, Metabolic Rate and Glucose Tolerance of Domestic Cats". In : *Research in Veterinary Science* 62.2 (mar. 1997), pages 131-136. ISSN : 0034-5288. DOI : 10.1016/S0034-5288(97)90134-X (cf. page 14).
- [7] Tammy SADEK et al. "Feline Feeding Programs : Addressing Behavioural Needs to Improve Feline Health and Wellbeing". In : *Journal of Feline Medicine and Surgery* 20.11 (1^{er} nov. 2018), pages 1049-1055. ISSN : 1098-612X. DOI : 10.1177/1098612X18791877 (cf. pages 14, 20).

- [8] Mikel DELGADO, Melissa J BAIN et CA Tony BUFFINGTON. "A Survey of Feeding Practices and Use of Food Puzzles in Owners of Domestic Cats". In : *Journal of Feline Medicine and Surgery* 22.2 (1^{er} fév. 2020), pages 193-198. ISSN : 1098-612X. DOI : 10.1177/1098612X19838080 (cf. page 14).
- [9] J. W. S. BRADSHAW et al. "Differences in Food Preferences between Individuals and Populations of Domestic Cats *Felis Silvestris Catus*". In : *Applied Animal Behaviour Science* 68.3 (1^{er} juin 2000), pages 257-268. ISSN : 0168-1591. DOI : 10.1016/S0168-1591(00)00102-7 (cf. page 14).
- [10] James G. MORRIS et Quinton R. ROGERS. "Arginine : An Essential Amino Acid for the Cat". In : *J. Nutr.* 108.12 (12 jan. 1978), pages 1944-1953. ISSN : 0022-3166, 1541-6100. pmid : 722344. URL : <http://jn.nutrition.org/content/108/12/1944> (visité le 28/09/2017) (cf. pages 14, 15).
- [11] Q. R. ROGERS, J. G. MORRIS et R. A. FREEDLAND. "Lack of Hepatic Enzymatic Adaptation to Low and High Levels of Dietary Protein in the Adult Cat". In : *Enzyme* 22.5 (1977), pages 348-356. ISSN : 0013-9432. DOI : 10.1159/000458816. pmid : 19238 (cf. page 14).
- [12] Alice S. GREEN et al. "Cats Are Able to Adapt Protein Oxidation to Protein Intake Provided Their Requirement for Dietary Protein Is Met". In : *J Nutr* 138.6 (1^{er} juin 2008), pages 1053-1060. ISSN : 0022-3166. DOI : 10.1093/jn/138.6.1053 (cf. pages 15, 23).
- [13] Quinton R. ROGERS et James G. MORRIS. "Do Cats Really Need More Protein?" In : *Journal of Small Animal Practice* 23.9 (1982), pages 521-532. ISSN : 1748-5827. DOI : 10.1111/j.1748-5827.1982.tb02513.x (cf. page 15).
- [14] Q. R. ROGERS et J. M. PHANG. "Deficiency of Pyrroline-5-Carboxylate Synthase in the Intestinal Mucosa of the Cat". In : *J. Nutr.* 115.1 (jan. 1985), pages 146-150. ISSN : 0022-3166. DOI : 10.1093/jn/115.1.146. pmid : 3965666 (cf. page 15).
- [15] R. J. SUHADOLNIK et al. "Species Variation in the Metabolism of 3-Hydroxyanthranilate to Pyridinecarboxylic Acids". In : *J. Biol. Chem.* 228.2 (10 jan. 1957), pages 973-981. ISSN : 0021-9258, 1083-351X. pmid : 13475374. URL : <http://www.jbc.org/content/228/2/973> (visité le 28/04/2020) (cf. page 15).
- [16] Laurence COLLIARD et al. "Risk Factors for Obesity in Dogs in France". In : *J. Nutr.* 136.7 (7 jan. 2006), 1951S-1954S. ISSN : 0022-3166, 1541-6100. pmid : 16772466. URL : <http://jn.nutrition.org/content/136/7/1951S> (visité le 02/08/2017) (cf. page 16).
- [17] Elizabeth M LUND et al. "Prevalence and Risk Factors for Obesity in Adult Cats from Private US Veterinary Practices". In : 3.2 (2005), page 9 (cf. page 16).
- [18] Elizabeth M LUND et al. "Prevalence and Risk Factors for Obesity in Adult Dogs from Private US Veterinary Practices". In : 4.2 (2006), page 10 (cf. page 16).
- [19] D. (Ralston Purina Company LAFLAMME. "Development and Validation of a Body Condition Score System for Dogs". In : *Canine practice (Santa Barbara, Calif. : 1990) (USA)* (1997). ISSN : 1057-6622. URL : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9742264> (visité le 29/11/2017) (cf. pages 17, 18).
- [20] D. (Ralston Purina Company LAFLAMME. "Development and Validation of a Body Condition Score System for Cats : A Clinical Tool". In : *Feline practice (Santa Barbara, Calif. : 1990) (USA)* (1997). ISSN : 1057-6614. URL : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US1997053264> (visité le 29/11/2017) (cf. pages 17, 18).

- [21] Charlotte R. BJØRNVAD et al. "The Effect of Position on the Precision of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Correlation with Body Condition Score in Dogs and Cats". In : *Journal of Nutritional Science* 6 (jan. 2017). ISSN : 2048-6790. DOI : 10.1017/jns.2017.16 (cf. page 17).
- [22] Charlotte R. BJØRNVAD et al. "Evaluation of a Nine-Point Body Condition Scoring System in Physically Inactive Pet Cats". In : *American Journal of Veterinary Research* 72.4 (1^{er} avr. 2011), pages 433-437. ISSN : 0002-9645. DOI : 10.2460/ajvr.72.4.433 (cf. page 17).
- [23] I. JEUNETTE et al. "Effect of Breed on Body Composition and Comparison between Various Methods to Estimate Body Composition in Dogs". In : *Research in Veterinary Science* 88.2 (1^{er} avr. 2010), pages 227-232. ISSN : 0034-5288. DOI : 10.1016/j.rvsc.2009.07.009 (cf. page 17).
- [24] Alexander J. GERMAN. "The Growing Problem of Obesity in Dogs and Cats". In : *J. Nutr.* 136.7 (7 jan. 2006), 1940S-1946S. ISSN : 0022-3166, 1541-6100. pmid : 16772464. URL : <http://jn.nutrition.org/content/136/7/1940S> (visité le 23/10/2017) (cf. pages 17, 21).
- [25] M. KLEIBER. "Body Size and Metabolism". In : *Hilgardia* 6.11 (1^{er} jan. 1932), pages 315-353. ISSN : 0073-2230. URL : <http://hilgardia.ucanr.edu/Abstract/?a=hilg.v06n11p315> (visité le 20/09/2018) (cf. page 19).
- [26] R. LAMBERT et G. TEISSIER. "Théorie de La Similitude Biologique". In : *Ann Physicochim Biol* 3 (1927), pages 212-246 (cf. page 19).
- [27] A. A. HEUSNER. "Energy Metabolism and Body Size I. Is the 0.75 Mass Exponent of Kleiber's Equation a Statistical Artifact?" In : *Respiration Physiology* 48.1 (1^{er} avr. 1982), pages 1-12. ISSN : 0034-5687. DOI : 10.1016/0034-5687(82)90046-9 (cf. page 19).
- [28] James K. KIRKWOOD. "The Influence of Size on the Biology of the Dog". In : *Journal of Small Animal Practice* 26.2 (1985), pages 97-110. ISSN : 1748-5827. DOI : 10.1111/j.1748-5827.1985.tb02090.x (cf. page 19).
- [29] National Research COUNCIL. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. 2006. ISBN : 978-0-309-08628-8. DOI : 10.17226/10668 (cf. pages 19, 23).
- [30] Emma N. BERMINGHAM et al. "Energy Requirements of Adult Dogs : A Meta-Analysis". In : *PLOS ONE* 9.10 (14 oct. 2014), e109681. ISSN : 1932-6203. DOI : 10.1371/journal.pone.0109681 (cf. pages 19, 21).
- [31] Øystein AHLSTRØM, Paula REDMAN et John SPEAKMAN. "Energy Expenditure and Water Turnover in Hunting Dogs in Winter Conditions". In : *Br. J. Nutr.* 106 Suppl 1 (oct. 2011), S158-161. ISSN : 1475-2662. DOI : 10.1017/S0007114511001838. pmid : 22005417 (cf. page 19).
- [32] Emma N. BERMINGHAM et al. "Energy Requirements of Adult Cats". In : *British Journal of Nutrition* 103.8 (avr. 2010), pages 1083-1093. ISSN : 1475-2662, 0007-1145. DOI : 10.1017/S000711450999290X (cf. pages 19, 21).
- [33] Guilhem DIVOL et Nathalie PRIYENKO. "A New Model for Evaluating Maintenance Energy Requirements in Dogs : Allometric Equation from 319 Pet Dogs". In : *Journal of Nutritional Science* 6 (2017/ed). ISSN : 2048-6790. DOI : 10.1017/jns.2017.50 (cf. pages 19, 21).

- [34] Ellen KIENZLE et Anna RAINBIRD. "Maintenance Energy Requirement of Dogs : What Is the Correct Value for the Calculation of Metabolic Body Weight in Dogs ?" In : *J Nutr* 121 (suppl_11 1^{er} nov. 1991), S39-S40. ISSN : 0022-3166. DOI : 10.1093/jn/121.suppl_11.S39 (cf. page 19).
- [35] Eleanor RAFFAN et al. "A Deletion in the Canine POMC Gene Is Associated with Weight and Appetite in Obesity-Prone Labrador Retriever Dogs". In : *Cell Metabolism* 23.5 (10 mai 2016), pages 893-900. ISSN : 1550-4131. DOI : 10.1016/j.cmet.2016.04.012 (cf. page 19).
- [36] Richard D. KEALY et al. "Effects of Diet Restriction on Life Span and Age-Related Changes in Dogs". In : *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 220.9 (1^{er} mai 2002), pages 1315-1320. ISSN : 0003-1488. pmid : 11991408 (cf. page 19).
- [37] Géraldine BLANCHARD et Bernard-Marie PARAGON. *L'alimentation des Chiens*. Paris : France Agricole, 5 nov. 2008. 208 pages. ISBN : 978-2-85557-157-7 (cf. page 20).
- [38] David O. GARCIA et al. "Relationships Between Dog Ownership and Physical Activity in Postmenopausal Women". In : *Prev Med* 0 (jan. 2015), pages 33-38. ISSN : 0091-7435. DOI : 10.1016/j.ypmed.2014.10.030. pmid : 25449694 (cf. page 20).
- [39] Hayley E. CHRISTIAN et al. "Dog Ownership and Physical Activity : A Review of the Evidence". In : *J Phys Act Health* 10.5 (juil. 2013), pages 750-759. ISSN : 1543-5474. DOI : 10.1123/jpah.10.5.750. pmid : 23006510 (cf. page 20).
- [40] Ryan MORRISON et al. "Correlates of Objectively Measured Physical Activity in Dogs". In : *The Veterinary Journal* 199.2 (fév. 2014), pages 263-267. ISSN : 10900233. DOI : 10.1016/j.tvjl.2013.11.023 (cf. page 20).
- [41] Adrian E. BAUMAN et al. "Correlates of Physical Activity : Why Are Some People Physically Active and Others Not?" In : *The lancet* 380.9838 (2012), pages 258-271. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673612607351> (visité le 06/12/2016) (cf. page 20).
- [42] J. F. SALLIS. "Age-Related Decline in Physical Activity : A Synthesis of Human and Animal Studies". In : *Med Sci Sports Exerc* 32.9 (sept. 2000), pages 1598-1600. ISSN : 0195-9131. DOI : 10.1097/00005768-200009000-00012. pmid : 10994911 (cf. page 20).
- [43] Ryan MORRISON et al. "Correlates of Objectively Measured Physical Activity in Dogs". In : *The Veterinary Journal* 199.2 (1^{er} fév. 2014), pages 263-267. ISSN : 1090-0233. DOI : 10.1016/j.tvjl.2013.11.023 (cf. page 21).
- [44] Patrick G. NGUYEN et al. "Effects of Dietary Fat and Energy on Body Weight and Composition after Gonadectomy in Cats". In : *American Journal of Veterinary Research* 65.12 (déc. 2004), pages 1708-1713. ISSN : 0002-9645. DOI : 10.2460/ajvr.2004.65.1708 (cf. page 21).
- [45] L. MARTIN et al. "Leptin, Body Fat Content and Energy Expenditure in Intact and Gonadectomized Adult Cats : A Preliminary Study". In : *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 85.7-8 (août 2001), pages 195-199. ISSN : 0931-2439. pmid : 11686788 (cf. page 21).
- [46] M. F. FLYNN, E. M. HARDIE et P. J. ARMSTRONG. "Effect of Ovariohysterectomy on Maintenance Energy Requirement in Cats". In : *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 209.9 (1^{er} nov. 1996), pages 1572-1581. ISSN : 0003-1488. pmid : 8899020 (cf. page 21).

- [47] I. JEUSETTE et al. “Ad Libitum Feeding Following Ovariectomy in Female Beagle Dogs : Effect on Maintenance Energy Requirement and on Blood Metabolites”. In : *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 88.3-4 (avr. 2004), pages 117-121. ISSN : 0931-2439. DOI : 10.1111/j.1439-0396.2003.00467.x. pmid : 15059235 (cf. page 21).
- [48] T. H. BRIAN HAIG. “Pancreatic Digestive Enzymes : Influence of a Diet That Augments Pancreatitis”. In : *Journal of Surgical Research* 10.12 (1^{er} déc. 1970), pages 601-607. ISSN : 0022-4804. DOI : 10.1016/0022-4804(70)90088-0 (cf. page 23).
- [49] Caroline MANSFIELD. “Acute Pancreatitis in Dogs : Advances in Understanding, Diagnostics, and Treatment”. In : *Topics in Companion Animal Medicine*. Exocrine Pancreatic Insufficiency and Pancreatitis 27.3 (1^{er} août 2012), pages 123-132. ISSN : 1938-9736. DOI : 10.1053/j.tcam.2012.04.003 (cf. page 23).
- [50] S. LINDSAY, C. ENTENMAN et I. L. CHAIKOFF. “Pancreatitis accompanying hepatic disease in dogs fed a high fat, low protein diet.” In : *Arch. Pathol.* 45 (1948), pages 635-638. URL : <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19491401033> (visité le 29/04/2020) (cf. page 23).
- [51] L. F. BÖSWALD et al. “A Comparative Meta-Analysis on the Relationship of Faecal Calcium and Phosphorus Excretion in Mammals”. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102.2 (2018), pages 370-379. ISSN : 1439-0396. DOI : 10.1111/jpn.12844 (cf. page 24).
- [52] Ellen KIENZLE, Claudia THIELEN et Claudia PESSINGER. “Investigations on Phosphorus Requirements of Adult Cats”. In : *J Nutr* 128.12 (1^{er} déc. 1998), 2598S-2600S. ISSN : 0022-3166. DOI : 10.1093/jn/128.12.2598S (cf. page 24).
- [53] Sarah DODD et al. “Abnormal Bone Mineralization in a Puppy Fed an Imbalanced Raw Meat Homemade Diet Diagnosed and Monitored Using Dual-Energy X-Ray Absorptiometry”. In : *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* (29 mai 2019). ISSN : 1439-0396. DOI : 10.1111/jpn.13118. pmid : 31144390 (cf. page 24).
- [54] J. K. MACK et al. “Demonstration of Uniformity of Calcium Absorption in Adult Dogs and Cats”. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 99.5 (2015), pages 801-809. ISSN : 1439-0396. DOI : 10.1111/jpn.12294 (cf. page 24).
- [55] S. SCHMITT et al. “Faecal Calcium Excretion Does Not Decrease during Long-Term Feeding of a Low-Calcium Diet in Adult Dogs”. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102.2 (2018), e798-e805. ISSN : 1439-0396. DOI : 10.1111/jpn.12837 (cf. page 24).
- [56] S. D. WHITE et al. “Zinc-Responsive Dermatitis in Dogs : 41 Cases and Literature Review”. In : *Veterinary Dermatology* 12.2 (2001), pages 101-109. ISSN : 1365-3164. DOI : 10.1046/j.1365-3164.2001.00233.x (cf. page 25).
- [57] Noel W. SOLOMONS. “Physiological Interactions of Minerals”. In : *Nutrient Interactions*. New York : Marcel Dekker. 1988, pages 115-148 (cf. page 25).