



Bromatologie, apports des aliments utilisés en alimentation du chien et du chat

Sébastien Lefebvre

► To cite this version:

Sébastien Lefebvre. Bromatologie, apports des aliments utilisés en alimentation du chien et du chat. École thématique. France. 2019. cel-02144445v1

HAL Id: cel-02144445

<https://cel.hal.science/cel-02144445v1>

Submitted on 30 May 2019 (v1), last revised 10 Jun 2020 (v2)

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.

Bromatologie, apports des aliments utilisés en alimentation du chien et du chat

Sébastien Lefebvre, PhD, DMV
Service de Nutrition et Bromatologie, VetAgro Sup, Marcy l'Etoile, FRANCE
Email: sebastien.lefebvre@vetagro-sup.fr

Copyright © 2019 pour les auteurs
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Mots clefs :

Ration ménagère ; bromatologie

1 Introduction

Ce cours de bromatologie générale a pour but de passer en revue les propriétés nutritionnelles des différentes classes bromatologiques disponibles en alimentation ménagère des carnivores domestiques ou disponibles en tant que matières premières d'aliments complets. L'attendu n'étant pas de connaître l'ensemble de ces aliments, mais d'en acquérir une vision globale. Pour se faire, le chapitre est axé sur des graphiques, le texte quant à lui propose une clef de lecture et complète les informations. Les graphiques sont, pour la plupart, présentés sous forme de rapports caloriques. Ce qui permet d'estimer la quantité de chaque nutriment apporté, si le besoin énergétique de l'animal était couvert uniquement par l'aliment en question. Cette méthode de comparaison semble plus intéressante, pour l'auteur, que celle basée sur la matière sèche.

Dans un premier temps, une présentation des bases de données utilisées dans le chapitre est réalisée avant d'étudier plus en détail les différents apports nutritionnels permis par les aliments. Il est porté à l'attention du lecteur que ce chapitre ne traite pas de l'aspect préparation des rations ménagères ni de celui de la sécurité sanitaire des aliments.

2 Bases de données

Les ingrédients d'une ration ménagère sont principalement issus d'aliments à destination de l'homme. De nombreuses bases de données sont disponibles en ligne et donnant les compositions analytiques des aliments utilisés en alimentation humaine. Pour la partie française, la base Ciqua¹, de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), regroupe les analyses de la concentration en nutriments contenus dans 2800 aliments de consommation courante. Une des limites de cette base de données est que toutes les informations ne sont pas complétées, dont certaines données fondamentales comme l'humidité

ou le taux protéique. Pour parer à ce problème, la base de données CALNUT² a été créée. La base CALNUT reprend les données de la base Ciqua quand elles sont présentes, et « complète » les données manquantes par similitude avec d'autres aliments. De plus, cette base propose une valeur aux nutriments présents en traces ou avec une valeur inférieure à un certain seuil. Ainsi, à l'inverse de la base Ciqua qui a une vocation scientifique, la base CALNUT a, dans sa définition même, l'ambition d'être utilisée dans le calcul des apports nutritionnels.

Outre atlantique, la base de référence est la base USDA (United States Department of Agriculture)³. Cette dernière se démarque des bases françaises par la présence entre autres du profil partiel en acides aminés et par son ampleur (plus de 7 000 aliments standard). Attention cependant, sur le même site il est possible de trouver aussi des profils nutritionnels pour des aliments de marques (presque 240 000 produits), de l'expérience personnelle de l'auteur, la qualité de cette base est inférieure.

Dans ce chapitre, sauf mention contraire, la base Ciqua¹ est utilisée, hors des profils d'acides aminés où les données de la base USDA³ sont employées.

Pour les données des os charnus et des carcasses, qui pour leur part ne sont pas employés en alimentation humaine, elles sont issues d'un poster d'Ellen Kienzle⁴.

3 Apports nutritionnels.

3.1 Humidité

Les aliments présents en ration ménagère ont la particularité, par rapport au aliment industriels, d'être, pour la plupart, des aliments humides. Cet élément est à la fois un inconvénient, car cela diminue la praticité d'une telle alimentation, notamment pour des raisons de stockage et du fait que les aliments humides sont plus difficiles à conserver. Il ne faut pas, non plus, négliger les avantages inhérents à ces importants taux d'humidité : augmentation de la prise d'eau d'origine alimentaire, notamment chez le chat, et augmentation de l'appétence pour la ration.

Les taux d'humidité de certains aliments ménagers et d'os charnu sont reportés dans la Figure 1. Le taux d'humidité est l'un des principaux facteurs influencés lors de la cuisson. Les modes de cuisson humide ayant tendance à l'augmenter (cuisson du riz à l'eau) et les modes de cuisson secs à le diminuer (grillades). On se permettra de rappeler que les huiles étant constitué entièrement de lipides, elles ont une humidité nulle. Le beurre, quant à lui, contient de 1% (beurre concentré) à 15% (beurre doux) d'humidité. Les autres aliments avec une humidité basse, quand ils sont crus, sont les céréales (environ 10%). Les points du groupe céréales et pommes de terre hauts sur la Figure 1 sont les pommes de terre. Les légumes sont quant à eux les aliments les plus riches en eau (hors légumes secs), avec notamment les courgettes (95% d'eau).

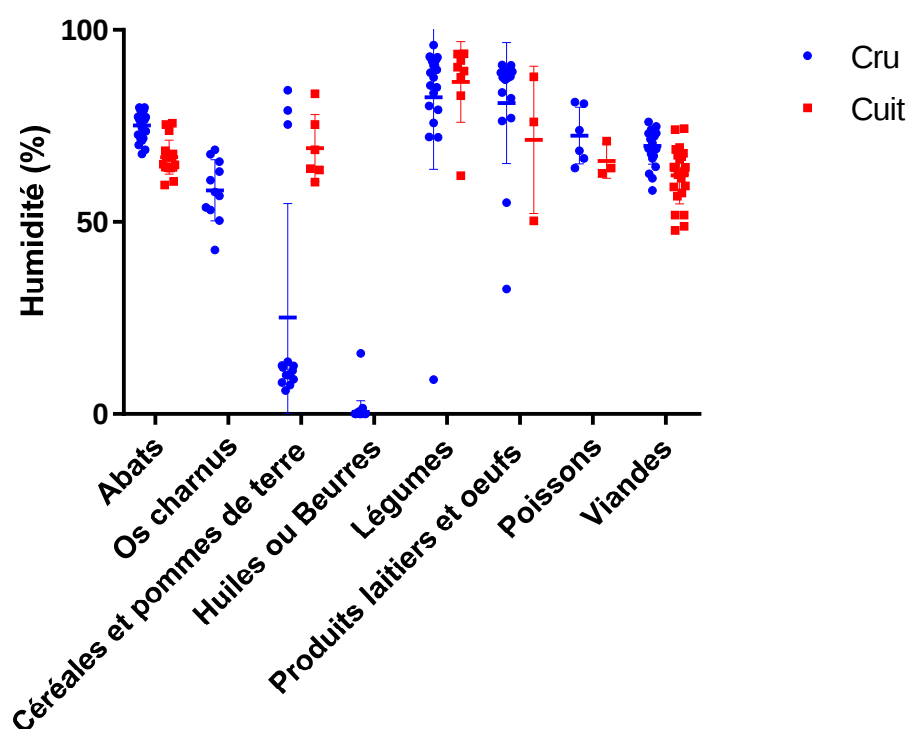


Figure 1: Taux d'humidité d'aliments ménagers crus et cuits

3.2 Énergie

L'énergie est apportée par les trois macronutriments : les protéines, les glucides (hors fibres) et les lipides. Pour calculer les densités énergétiques en énergie métabolisable, les coefficients d'Atwater sont utilisés : 4 kcal EM/g pour les glucides et les protéines et 9 kcal EM/g pour les lipides⁵. Il est à noter que pour le chat le coefficient pour les lipides devrait être remplacé par 8,5 kcal EM/g⁶. Par la suite et sauf mention contraire, l'énergie est exprimée en énergie métabolisable.

Les densités énergétiques pour cent grammes de matière sèche des différents groupes sont reprises dans la Figure 2. Il est intéressant de remarquer que dans un même groupe bromatologique la densité énergétique de la matière sèche est relativement stable. Pour les huiles, celle-ci est de 900 kcal EM/100g MS. Pour les produits d'origine animale, les densités sont, en moyenne, de 500 kcal EM/100g MS. Pour les céréales et les légumes, les densités énergétiques moyennes sont respectivement de 370 et 280 kcal EM/100g MS.

Une autre différence importante se situe au niveau de l'origine de cette énergie. La Figure 3 présente l'origine en pourcentage de l'énergie dans chaque aliment. Il est remarquable que les viandes, poissons et os charnus aient une énergie quasi exclusivement apportée par les protéines et les matières grasses. Les abats qui se détachent et contiennent un peu de glucides apportant de l'énergie sont des foies. Nonobstant certains coproduits de céréales (son de blé ou de riz), les céréales et pommes de terre ont une énergie majoritairement apportée par l'extractif non azoté (ENA).

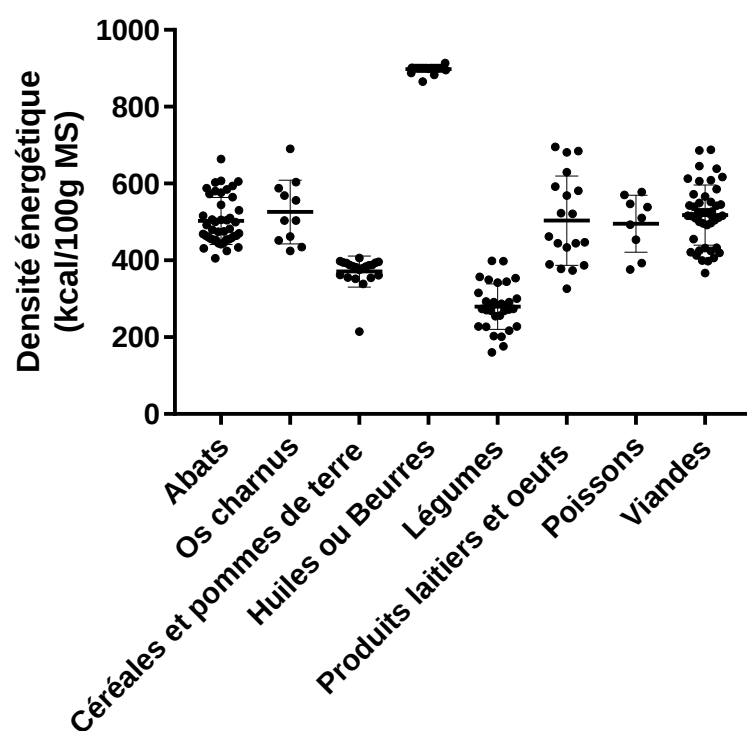


Figure 2: Densités énergétiques (énergie métabolisable) pour 100g de matière sèche, pour différents aliments ménagers.

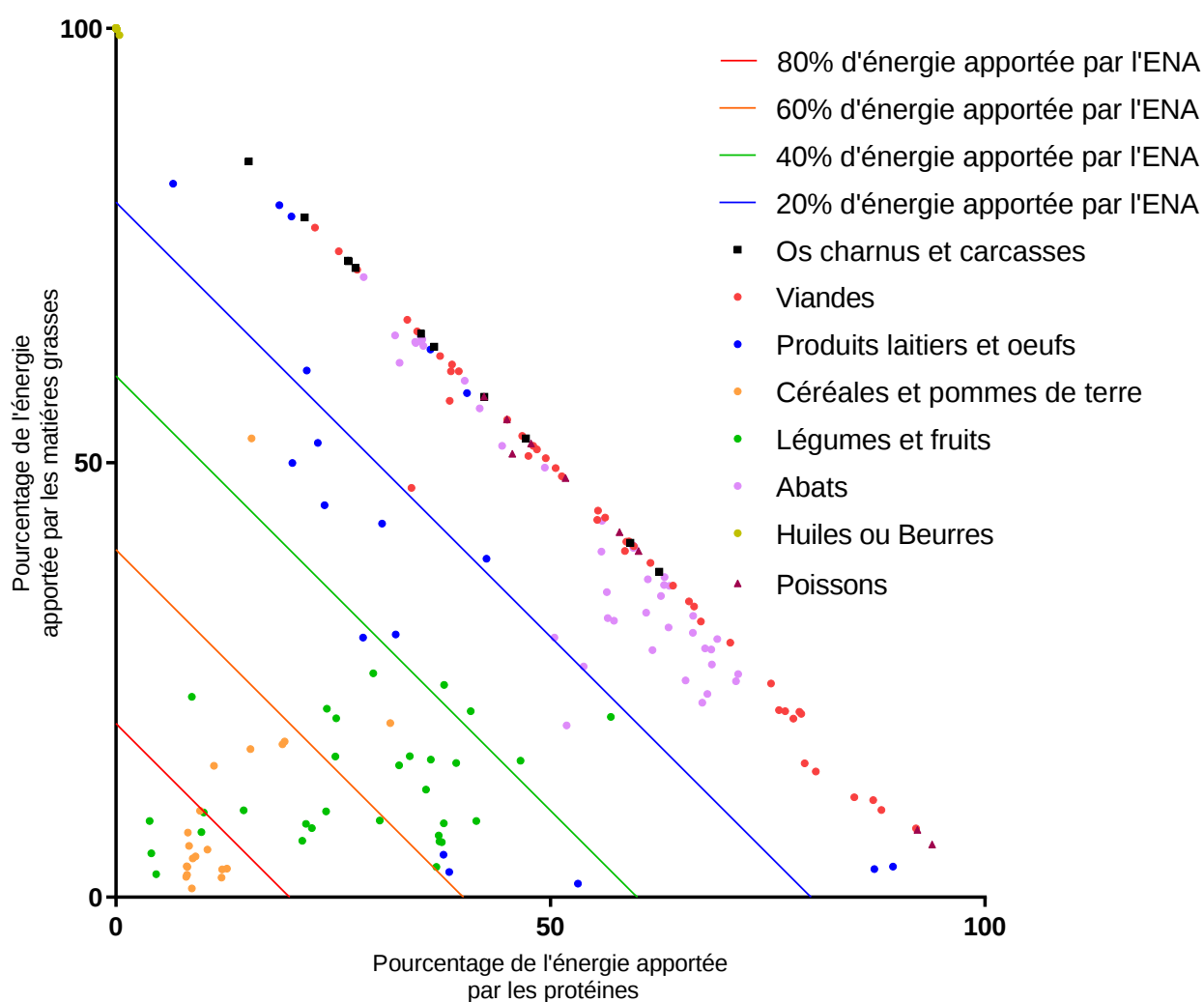


Figure 3: Origine de l'apport en énergie métabolisable de différents aliments ménagers, carcasses et os charnus

3.3 Protéines.

Les protéines sont un élément important à prendre en considération en nutrition clinique. C'est un nutriment essentiel, dont le but premier est d'apporter des acides aminés. Plus qu'un besoin en protéine, le chien et le chat ont un besoin en acides aminés. Secondairement comme nous l'avons vu précédemment les protéines sont aussi une source d'énergie non négligeable. Il est à noter que les protéines sont le groupe de nutriments avec la plus importante différence entre son énergie brute et son énergie métabolisable avec 1,7 kcal/g d'énergie en moins contre 0,4 kcal/g et 0,1 kcal/g pour respectivement les matières grasses et l'ENA⁶.

Pour ce qui est de l'apport d'acides aminés essentiels, deux éléments sont importants à considérer. Le premier est la quantité et le second est le ratio entre les acides aminés essentiels. Ces ratios d'acides aminés essentiels déterminent la quantité de protéine synthétisable, d'après la loi du minimum de Liebig⁷. La Figure 4 présente une métaphore de cette loi, les acides

aminés essentiels étant représentés par les planches et l'eau contenue dans le tonneau symbolise le potentiel de synthèse protéique. Les conséquences de cette loi sont qu'il importe peu, pour ce qui est de la synthèse protéique, de connaître la quantité totale de protéines dans un aliment, il est nécessaire, à l'inverse, de vérifier que l'apport en chaque acide aminé est suffisant. De plus, si le ratio entre acides aminés n'est pas idéal, le surplus (planche dépassant du niveau d'eau) est éliminé par le catabolisme, ce qui entraîne une augmentation des rejets d'urée dans les urines sans gain sur la capacité de synthèse protéique^{8,9}, avec des conséquences environnementales¹⁰, et dans le cas d'un individu atteint d'insuffisance rénale une augmentation de l'azotémie.

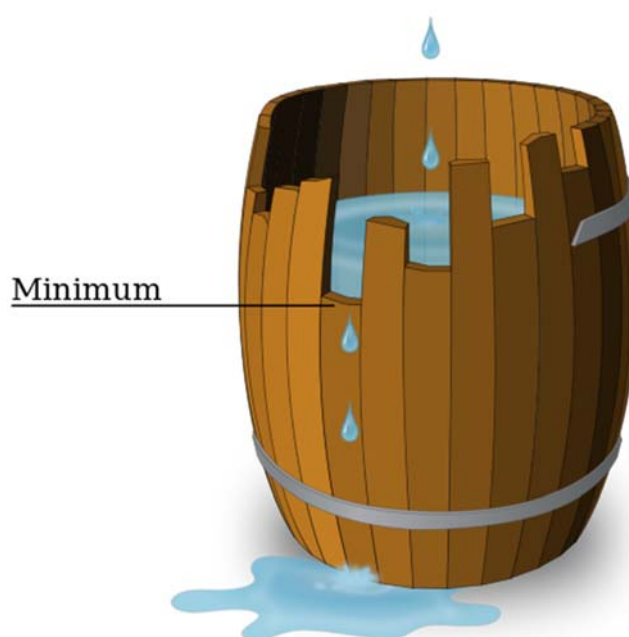


Figure 4: Vision schématique de la loi du minimum de Liebig (domaine public).

La Figure 5 présente les apports en chaque acide aminé essentiel en nombre de fois que le besoin, au sens du NRC 2006⁶, est couvert. La cystéine et la tyrosine étant respectivement des produits de la méthionine et de la phénylalanine, c'est la somme du produit et de son possible précurseur qui est rapportée dans ce graphique. Il est remarquable que seuls les produits d'origine animale couvrent complètement au moins deux fois le besoin en chacun des acides aminés essentiels. Les produits d'origine végétale ne contiennent pas suffisamment d'acides aminés par rapport à leur énergie. L'un des principaux manques se situe au niveau des acides aminés soufrés (méthionine et cystéines).

Quant à la Figure 6, elle présente un indicateur qui, de façon simplifiée, évalue l'éloignement moyen des acides aminés essentiels par rapport à l'acide aminé limitant. La définition de protéine idéale utilisée est celle de Baker¹¹. Il est important de garder à l'esprit qu'il n'y a pas de définition consensuelle de la protéine idéale, et il serait difficile, au vu de l'ensemble des mécanismes impliqués, d'en avoir une. Ainsi, il faut prendre les analyses par rapport à la protéine idéale comme des éléments de réflexions, pouvant avoir un certain intérêt, mais veiller à ne pas baser sa réflexion au sujet des protéines uniquement sur cela. Dans la figure 6,

plus la valeur est élevée plus l'écart entre l'acide aminé limitant et les autres est important. Encore une fois une nette différence s'observe entre les produits d'origine animale et les autres. Concernant les points particuliers, les trois points de la famille « céréales et pommes de terre » avec des valeurs basses sont les pommes de terre. Celles-ci sont riches en lysine et ont une protéine plutôt bien équilibrée, mais du fait de la très faible teneur de celles-ci en protéine (entre 20 et 30 g/Mcal) elles ne peuvent couvrir, en l'état, le besoin d'un chien ou d'un chat en acides aminés. Pour ce qui est des céréales, bien qu'il existe des coproduits riches en protéines (les glutens), leurs protéines sont déséquilibrées en acides aminés et sont notamment carencées en lysine. Concernant le maïs, il est, de plus, carencé en tryptophane ce qui limite l'utilisation de ses coproduits. Enfin, il est notable que certaines viandes semblent moins équilibrées que d'autres. Les viandes incriminées sont les viandes transformées. L'auteur suspecte que les analyses ont été faites sur des viandes contenant une quantité non négligeable de collagène (tendon) ce qui expliquerait que l'acide aminé limitant soit le tryptophane.

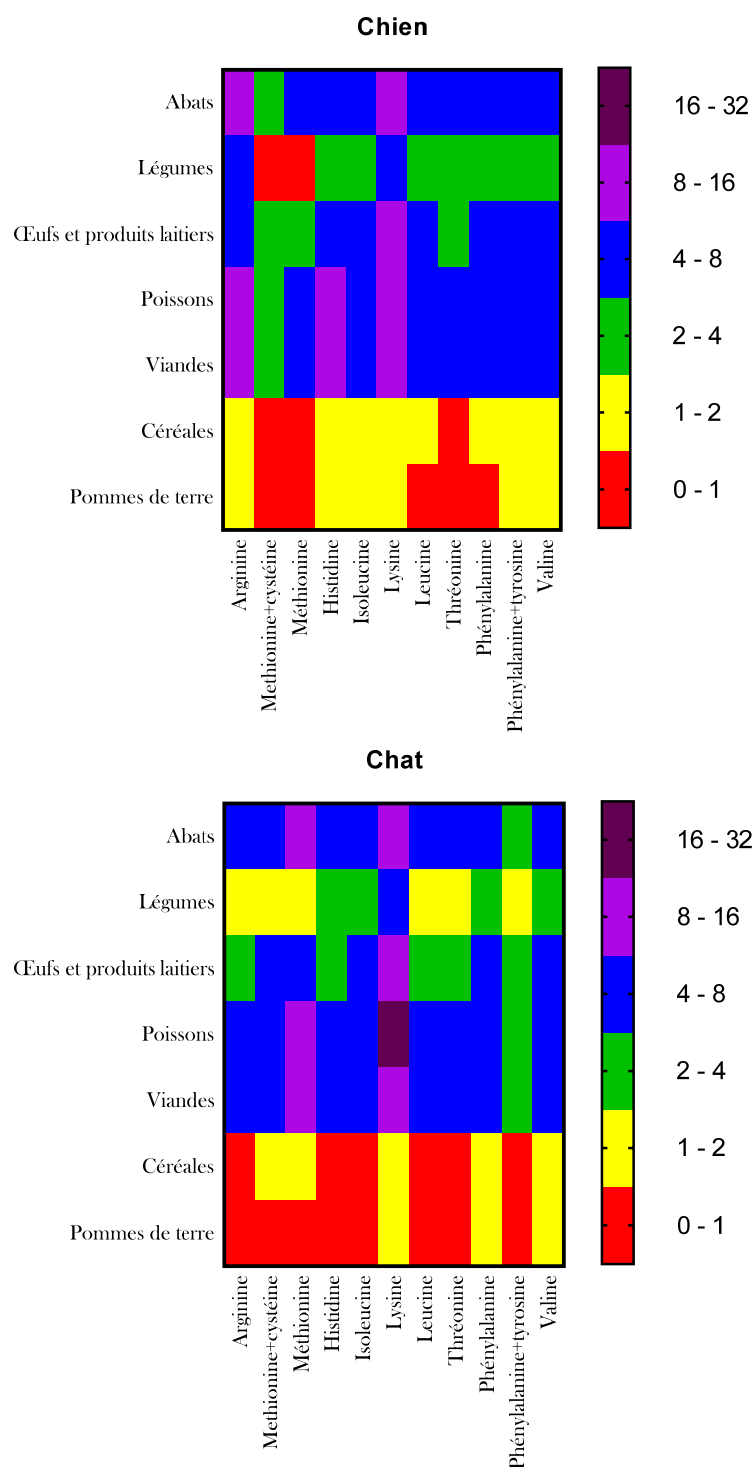


Figure 5: Moyennes des apports en acides aminés essentiels de différentes familles d'aliment en nombre de fois que le besoin (NRC, 2006⁶) est couvert.

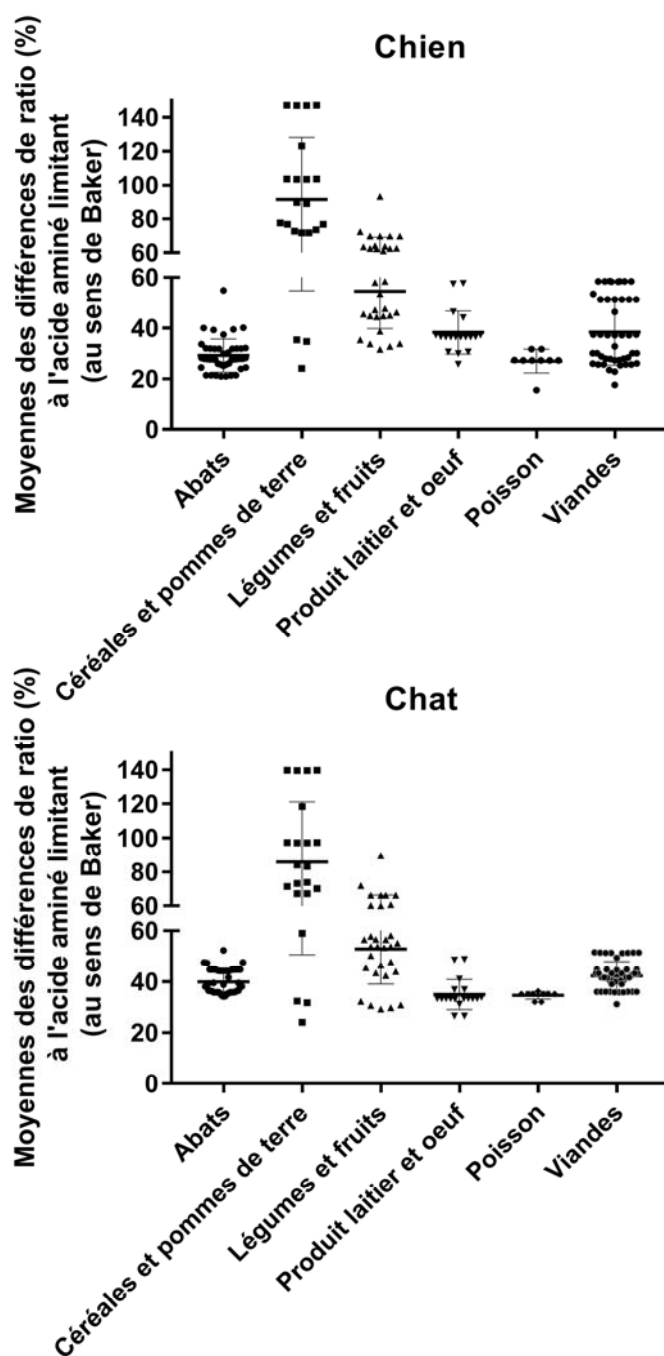


Figure 6: moyennes en pourcentage des différences des ratios par rapport à l'acide aminé limitant des autres acides aminés essentiels. La protéine idéale utilisée est celle présentée par Baker en 1991¹¹

Un acide aminé non protéogène est aussi à prendre en considération dans l'alimentation du chien et du chat : la taurine. Chez le chien, la taurine est synthétisée à partir de la méthionine ou de la cystéine. Cependant, malgré cette capacité de production endogène, il semble que le chien ait un besoin en taurine dans certaines situations. Notamment, le chien doit recevoir une quantité suffisante en protéine totale et en acides aminés soufrés, si ces conditions ne sont pas remplies, le taux de synthèse de la taurine par le chien diminue ce qui peut engendrer une carence. Les chiens de grande taille sont particulièrement sensibles à cette chute du taux de synthèse¹²⁻¹⁵. Concernant le chat, le besoin en taurine est strict. Les aliments riches en taurine sont les muscles striés squelettiques, les cerveaux et le cœur¹⁶. Il est remarquable que les muscles sombres du poulet soient bien plus concentrés en taurine que les clairs¹⁶. Cependant, les modes de cuisson humides semblent être bien plus délétères que les secs sur la concentration d'un aliment en taurine¹⁷.

3.4 Lipides

Hormis leur importance dans l'apport énergétique vu précédemment, les lipides ont aussi une importance physiologique par l'apport en acides gras essentiels qu'ils permettent. Pour l'importance des lipides en physiologie, vous pouvez vous reporter au cours correspondant. La Figure 7 rapporte la composition en acides gras oméga 6 et oméga 3 de différentes huiles et graisses. Dans le reste de cette section, le terme d'acides gras est utilisé dans un sens large. Cependant, acides gras sont majoritairement sous forme de triglycérides dans les aliments et non sous forme libre. Il est fondamental de se rappeler que les oméga 6 et 3 sont composés de différents acides gras insaturés. Ainsi, les huiles végétales sont composées uniquement d'oméga 3 et 6 en C18. Alors que, dans le règne animal, des acides gras polyinsaturés C20 et C22 sont présents, comme l'acide arachidonique (oméga 6), l'acide eicosapentaénoïque (oméga 3, EPA) ou l'acide docosahéxaénoïque (oméga 3, DHA).

De façon générale, les matières grasses des végétaux et animaux terrestres sont plus riches en oméga 6 que 3, à l'exception notable de l'huile de lin. Pour les matières grasses d'origine marine, c'est plutôt l'inverse. Les oméga 3 des huiles de poisson sont en plus principalement composés d'EPA et de DHA.

L'huile de coco est de plus en plus utilisée, notamment du fait de sa « réputation sur internet ». Elle est composée à 14% d'acides gras à chaîne moyenne (C6, C8 et C10)^{3,18}. Ces acides gras moyens ont notamment la propriété d'augmenter la cétogénèse¹⁹. Ainsi ces triglycérides ont une utilité dans l'accompagnement diététique de la sénescence cognitive et des épilepsies du chien^{20,21}. Ces effets et les mécanismes sous-jacents sont abordés dans le cours s'y rapportant. Cependant, l'huile de coco est composée pour 82% d'acides gras saturés dont 41% du total est de l'acide laurique (C12). De plus, elle contient moins de 2% d'oméga 6 et moins de 0.1% d'oméga 3. Ainsi, l'huile de coco ne peut pas couvrir les besoins d'un chien ou d'un chat en acides gras essentiels.

Pour l'huile d'olive, aussi couramment employée, elle est composée majoritairement d'acide oléique (71%)¹ un oméga 9 non essentiel pour le chien et le chat. Mais elle contient trop peu d'oméga 6 et 3 pour couvrir les besoins du chien ou du chat.

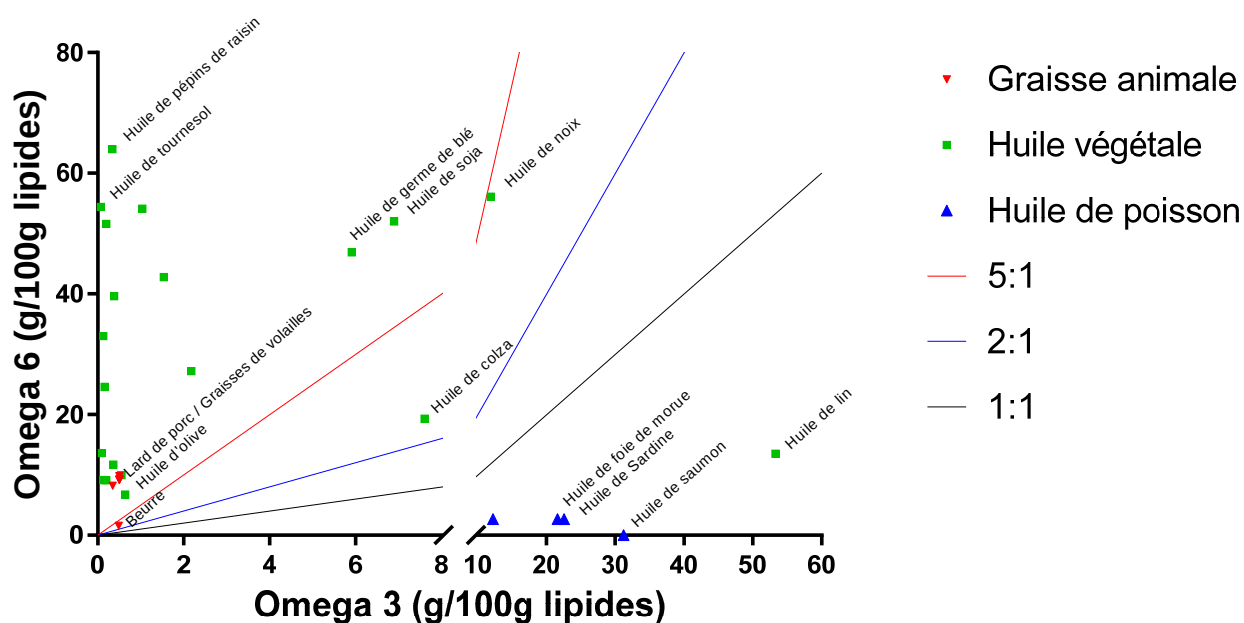


Figure 7: Concentrations des différentes matières grasses en oméga 6 et en oméga 3

3.5 Les minéraux et oligoéléments

Les minéraux et oligoéléments, bien que nécessaires, ont pour la plupart une toxicité. De plus, ce sont des nutriments qui interagissent entre eux. Ainsi, il est fondamental d'assurer un certain équilibre dans les apports en minéraux. Ici, seuls quelques nutriments sont présentés, toujours dans le but d'assurer une vision globale.

Commençons par le phosphore, une des grandes idées reçues est que la quantité de phosphore d'un aliment est dépendante de sa quantité de protéines. C'est partiellement vrai, il faudrait ajouter à cette sentence « et de son groupe bromatologique ». Comme le montre la Figure 8, dans un même groupe bromatologique, le ratio protéines sur phosphore est à peu près constant. Ainsi, ce ratio est de 118 pour les viandes, 46 pour les fruits et légumes et jusqu'à 19 pour le groupe carcasses et os. Le groupe le plus hétérogène est celui des abats (Figure 9), cependant ce ratio est conservé pour un même type d'abats.

Il est important de ne pas considérer uniquement la quantité de l'apport en un nutriment, mais aussi la digestibilité de ce même nutriment. Ainsi, en prenant l'exemple du phosphore, celui contenu dans les os ainsi que celui contenu dans les céréales sont moins digestibles que celui de la viande. Cette différence de digestibilité est due à la forme du phosphore dans les aliments. Ainsi, dans les céréales, une majorité du phosphore est sous forme phytique et par conséquent non digestible par le chien et le chat²².

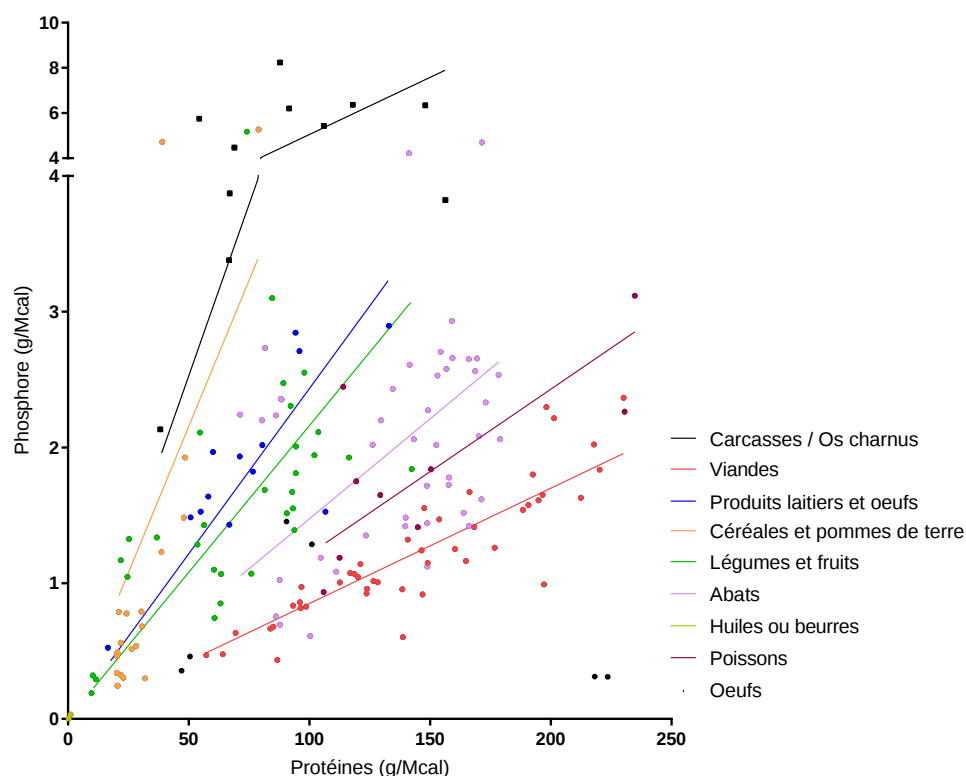


Figure 8: Apports en phosphore et en protéines de différents aliments. Pour chaque groupe bromatologique, la droite affine de régression est représentée.

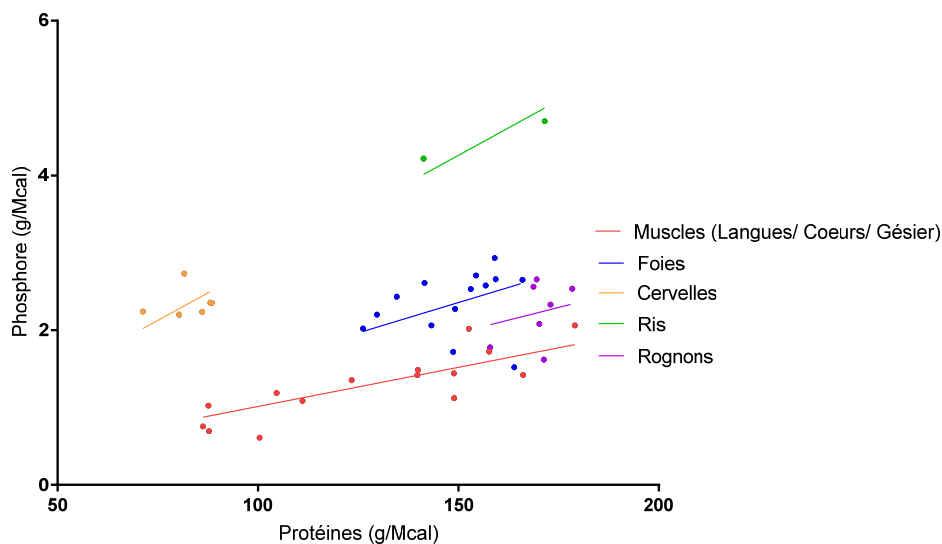


Figure 9: Apports en protéines et phosphore des différents types d'abats. Pour chaque type, la droite affine de régression est représentée.

L'un des équilibres minéraux les plus importants est l'équilibre phosphocalcique. Un apport trop élevé en phosphore relativement au calcium pouvant conduire à une hyperparathyroïdie secondaire à l'alimentation et par conséquent à une déminéralisation osseuse²³⁻²⁵. La Figure

10 met en lumière que, hormis les carcasses et les produits laitiers, la majorité des aliments sont bien plus riches en phosphore qu'en calcium. Cependant, concernant les carcasses, des questions se posent quant à la digestibilité de leurs minéraux et aux risques, notamment chez le chat, d'un apport trop important en phosphore sur les prédispositions aux insuffisances rénales (risques à moduler en fonction de la digestibilité du phosphore)²⁶. Enfin, les apports en carcasse impliquent aussi des apports riches en collagène. Cette protéine contient de l'hydroxyproline (10 à 13%). Or cet acide aminé augmente l'excrétion urinaire d'oxalate^{27,28}. Ce dernier élément pouvant être délétère dans une alimentation aussi riche en calcium par la formation d'urolithes.

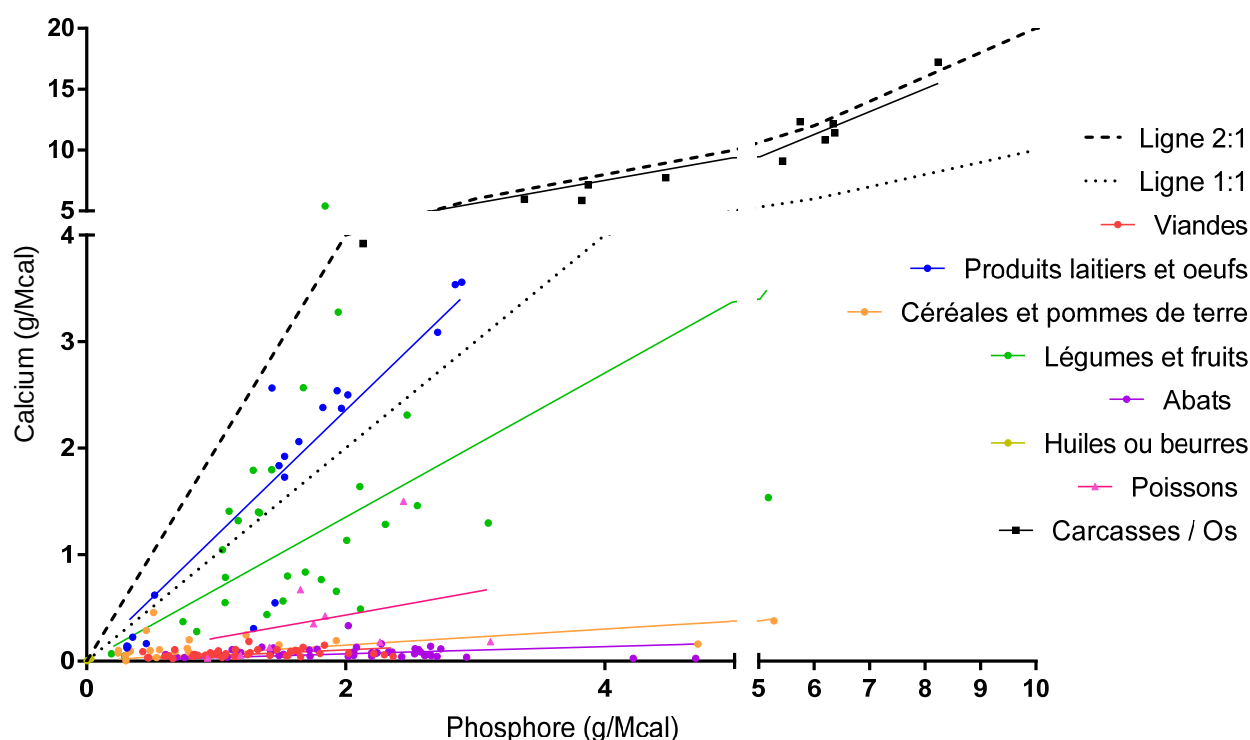


Figure 10: Apports en calcium et en phosphore de différents aliments. Pour chaque groupe bromatologique, la droite affine de régression est représentée.

Le cuivre et le zinc sont deux oligoéléments nécessaires à de nombreux systèmes enzymatiques. Ayant tous deux une forme divalente (comme de nombreux autres oligo-éléments), ils partagent un certain nombre de transporteurs, notamment membranaires comme le DMT (*divalent metal transporter*). Ainsi, l'excès en zinc peut aboutir à une carence en cuivre²⁹. Le rapport idéal entre le zinc et le cuivre est de 10 pour 1. La Figure 11 présente les apports dans les deux métaux. Les viandes et produits laitiers sont plutôt riches en zinc et, à l'inverse, les foies sont à part, en étant très riche en cuivre. Or, le cuivre, en grande quantité, est toxique.

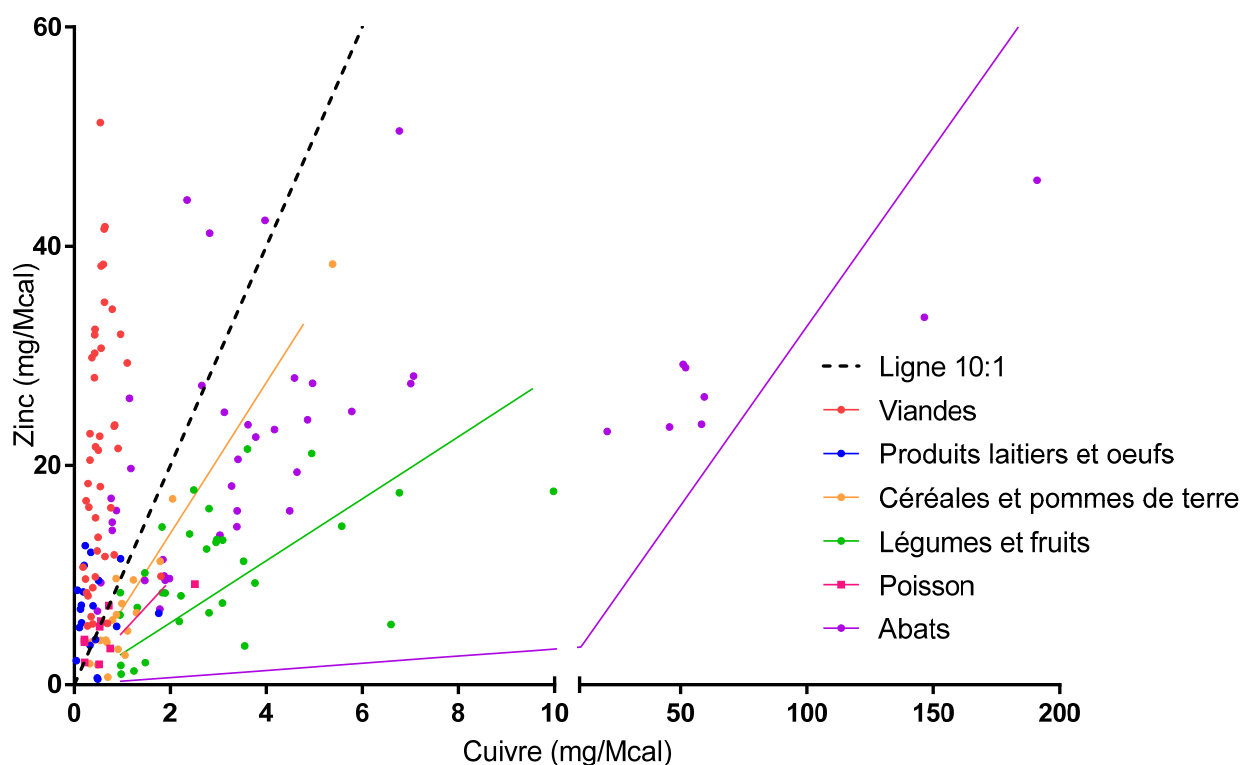


Figure 11: Apports en cuivre et zinc de différents aliments. Pour chaque groupe bromatologique, la droite affine de régression est représentée.

3.6 Vitamines

Un certain nombre de vitamines regroupent un ensemble de molécules ayant un même effet. Certaines de ces molécules sont des provitamines. Par exemple, le rétinol, le rétinal et l'acide rétinoïques ont les éléments actifs de la vitamine A alors que le β -carotène est une des provitamines A. Ainsi, le β -carotène peut avoir l'action d'une vitamine A et, moyennant un coefficient estimant le taux de transformation du β -carotène en rétinol, il peut être inclus dans la quantité de vitamine A disponible dans l'aliment. Cependant, même si, contrairement au chat, le β -carotène peut être utilisé par le chien pour former du rétinol, on ignore actuellement son taux de transformation.

La Figure 12 permet de noter une grande variabilité des de la teneur en rétinol y compris dans un même groupe (échelle logarithmique). La figure souligne le fait que, contrairement au β -carotène qui peut être présent à la fois dans les aliments animaux et végétaux, le rétinol n'est contenu que dans les denrées d'origines animales. Les quelques points très élevés sont, dans les abats, les foies et, dans les huiles, l'huile de foie de morue. De plus, les foies sont riches en vitamine D, et cette dernière, comme la A, peut conduire à des hypervitaminoses mortelles. Ainsi, les foies doivent être ajoutés dans la ration avec parcimonie. De plus, une variabilité importante peut exister entre deux foies.

La Figure 13 prend l'exemple de deux autres vitamines, la B1 (thiamine) et la B12 (cobalamine). La thiamine est présente principalement dans les fruits, les légumes, certains coproduits

de céréales (ici les sons) et les abats. Quant à la cobalamine, elle est exclusivement présente dans les denrées animales.

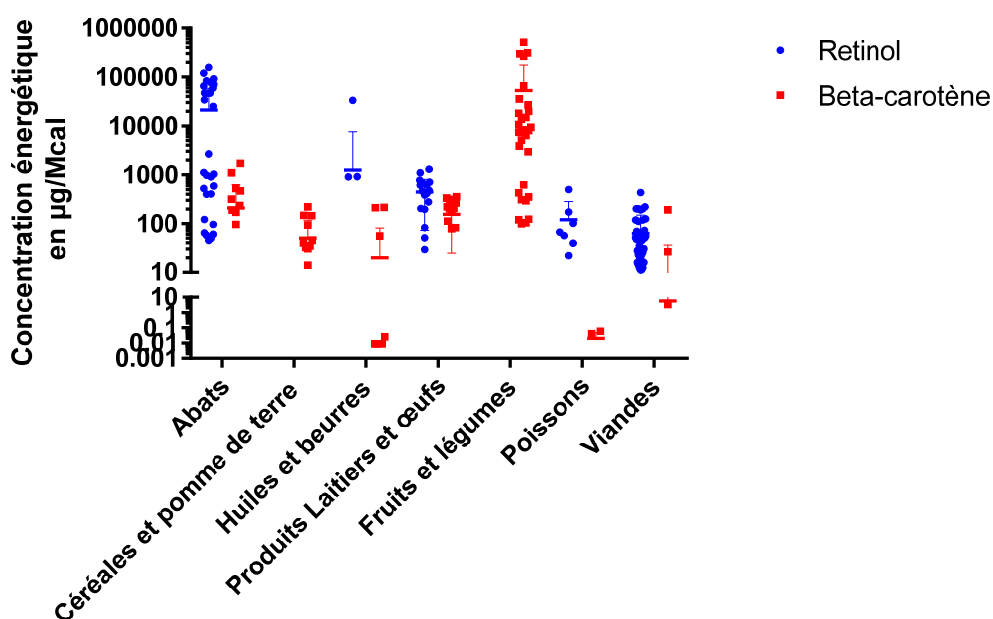


Figure 12: teneur par rapport à l'énergie métabolisable en rétinol et β -carotène de quelques aliments

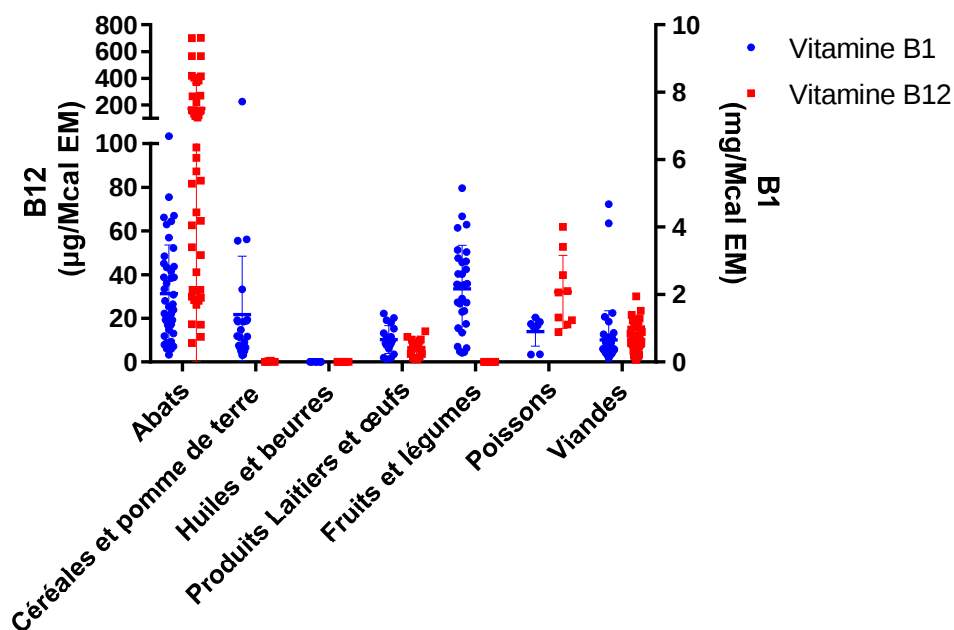


Figure 13: Apport de différents groupes d'aliments en vitamines B1 et B12

4 Conclusion

Ce chapitre descriptif donne un aperçu de la diversité des classes bromatologiques et de leurs apports. La ration ménagère a pour but d'utiliser au mieux le potentiel de chaque groupe. Cependant, ce chapitre a aussi mis en lumière certaines difficultés comme la digestibilité de certains minéraux, la variabilité de certaine teneur en vitamine, ce qui, conjugué à des risques de carence ou de toxicité, incite à compléter ces rations avec des compléments minéralovitaminés.

5 Références

1. *Table de composition nutritionnelle des aliments Ciquel 2017*. (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2017).
2. *Table de composition nutritionnelle Ciquel pour le calcul des apports nutritionnels CALNUT 2016*. (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2016).
3. *USDA National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release, April 2018*. (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service, 2018).
4. Köber, N., Schmitt, S., Kienzle, E. & Dobenecker, B. Bones and gristle as a source of calcium in BARF-rations. in (2017).
5. Atwater, W. O. *Principles of nutrition and nutritive value of food*. (U.S. Dept. of Agriculture, 1910).
6. National Research Council. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. (2006). doi:10.17226/10668
7. Rose, W. C. Feeding experiments with mixtures of highly purified amino acids I. The inadequacy of diets containing nineteen amino acids. *J. Biol. Chem.* **94**, 155–165 (1931).
8. Jolliffe, N. & Smith, H. W. The excretion of urine in the dog. *Am. J. Physiol.-Leg. Content* **98**, 572–577 (1931).
9. Pratt-Phillips, S. E. *et al.* Effect of reduced protein intake on endurance performance and water turnover during low intensity long duration exercise in Alaskan sled dogs. *Comp. Exerc. Physiol.* **14**, 19–26 (2018).
10. Sutton, M. A., Dragosits, U., Tang, Y. S. & Fowler, D. Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK. *Atmos. Environ.* **34**, 855–869 (2000).
11. Baker, D. H. & Czarnecki-Maulden, G. L. Comparative Nutrition of Cats and Dogs. *Annu. Rev. Nutr.* **11**, 239–263 (1991).
12. Backus, R. C. *et al.* Low plasma taurine concentration in Newfoundland dogs is associated with low plasma methionine and cyst(e)ine concentrations and low taurine synthesis. *J. Nutr.* **136**, 2525–2533 (2006).
13. Ko, K. S., Backus, R. C., Berg, J. R., Lane, M. W. & Rogers, Q. R. Differences in Taurine Synthesis Rate among Dogs Relate to Differences in Their Maintenance Energy Requirement. *J. Nutr.* **137**, 1171–1175 (2007).
14. Pion, P. D., Kittleson, M. D., Skiles, M. L., Rogers, Q. R. & Morris, J. G. Dilated Cardiomyopathy Associated with Taurine Deficiency in the Domestic Cat: Relationship to Diet and Myocardial Taurine Content. in *Taurine: Nutritional Value and Mechanisms of Action* (eds. Lombardini, J. B., Schaffer, S. W. & Azuma, J.) 63–73 (Springer US, 1992). doi:10.1007/978-1-4615-3436-5_8
15. Sanderson, S. L. *et al.* Effects of dietary fat and L-carnitine on plasma and whole blood taurine concentrations and cardiac function in healthy dogs fed protein-restricted diets. *Am. J. Vet. Res.* **62**, 1616–1623 (2001).
16. Laidlaw, S., Grosvenor, M. & Kopple, J. The taurine content of common foodstuffs. *J. Parenter. Enter. Nutr.* **14**, 183–188 (1990).

17. Spitze, A. R., Wong, D. L., Rogers, Q. R. & Fascetti, A. J. Taurine concentrations in animal feed ingredients; cooking influences taurine content. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **87**, 251–262 (2003).
18. Marten, B., Pfeuffer, M. & Schrezenmeir, J. Medium-chain triglycerides. *Int. Dairy J.* **16**, 1374–1382 (2006).
19. Miles, J. M. *et al.* Metabolic and Neurologic Effects of an Intravenous Medium-Chain Triglyceride Emulsion. *J. Parenter. Enter. Nutr.* **15**, 37–41 (1991).
20. Chang, P. *et al.* Seizure Control by Derivatives of Medium Chain Fatty Acids Associated with the Ketogenic Diet Show Novel Branching-Point Structure for Enhanced Potency. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **352**, 43–52 (2015).
21. Pan, Y. *et al.* Dietary supplementation with medium-chain TAG has long-lasting cognition-enhancing effects in aged dogs. *Br. J. Nutr.* **103**, 1746–1754 (2010).
22. Smet, B. D. *et al.* The influence of supplemental alpha-galactosidase and phytase in a vegetable ration for dogs on the digestibility of organic components and phytate phosphorus. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **81**, 1–8 (1999).
23. Kawaguchi, K., Braga, I. S., Takahashi, A., Ochiai, K. & Itakura, C. Nutritional secondary hyperparathyroidism occurring in a strain of German shepherd puppies. *Jpn. J. Vet. Res.* **41**, 89–96 (1993).
24. Taylor-Brown, F., Beltran, E. & Chan, D. L. Secondary nutritional hyperparathyroidism in Bengal cats. *Vet. Rec.* **179**, 287–288 (2016).
25. Tomsa, K. *et al.* Nutritional secondary hyperparathyroidism in six cats. *J. Small Anim. Pract.* **40**, 533–539 (1999).
26. Böswald, L. F., Kienzle, E. & Dobenecker, B. Observation about phosphorus and protein supply in cats and dogs prior to the diagnosis of chronic kidney disease. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **102**, 31–36 (2018).
27. Dijcker, J. C. *et al.* The effect of dietary hydroxyproline and dietary oxalate on urinary oxalate excretion in cats. *J. Anim. Sci.* **92**, 577–584 (2014).
28. Takayama, T. *et al.* Control of Oxalate Formation from L-Hydroxyproline in Liver Mitochondria. *J. Am. Soc. Nephrol.* **14**, 939–946 (2003).
29. Hendriks, W. H., Allan, F. J., Tarttelin, M. F., Collett, M. G. & Jones, B. R. Suspected zinc-induced copper deficiency in growing kittens exposed to galvanised iron. *N. Z. Vet. J.* **49**, 68–72 (2001).
30. Verbrugghe, A. & Bakovic, M. Peculiarities of One-Carbon Metabolism in the Strict Carnivorous Cat and the Role in Feline Hepatic Lipidosis. *Nutrients* **5**, 2811–2835 (2013).