



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

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-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints>
ID : 15969

To cite this version :

Divol, Guilhem. *Contribution à l'étude du besoin énergétique chez le chien : étude expérimentale*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 109 p.

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

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DU BESOIN ÉNERGÉTIQUE CHEZ LE CHIEN : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

DIVOL Guilhem

Né, le 09 décembre 1991 à Nîmes (30)

Directeur de thèse : Mme Nathalie PRIYMENKO

JURY

PRESIDENT :

M. Claude MOULIS

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

Mme Nathalie PRIYMENKO

M. Faouzi LYAZRHI

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **MILON Alain**, *Microbiologie moléculaire*
- M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- 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

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*

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 **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*
Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

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 **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 **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*
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*
M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
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*
Mme **PRADIER Sophie**, *Médecine interne des équidés*
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
M. **TANIS Jean-Benoît**, *Anatomie – Imagerie Médicale*

Remerciements

A l'attention de Monsieur le Professeur Claude MOULIS,

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

Je suis très honoré que vous ayez accepté de présider cette thèse et de juger mon travail.

La présence d'un enseignant de la faculté de pharmacie me touche particulièrement car j'ai emprunté un chemin, bien que parallèle, balisé par mes parents, tous deux docteurs en pharmacie.

Je vous prie de trouver ici le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

A l'attention de Madame le Docteur Nathalie PRIYMENKO

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, DVM, PhD, diplomate du collège européen en nutrition vétérinaire et comparée

Je vous suis sincèrement reconnaissant de m'avoir fait confiance et d'avoir dirigé la réalisation de ce travail, mais surtout de m'avoir soutenu et motivé.

Merci d'avoir fait le choix de transmettre et de faire partie de ces trop rares enseignants qui savent inculquer passion et rigueur en mêlant théorie et pratique, tout en faisant confiance aux étudiants.

A l'attention de Monsieur le Docteur Faouzi LYAZHRI

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, PhD, Biostatistiques

C'est un grand plaisir ainsi qu'une immense fierté de vous compter parmi les membres de ce jury.

Merci infiniment pour votre aide et votre patience durant mon enseignement initial puis mon travail de thèse. Je pense que sans vos précieux conseils et votre sourire encourageant, ce travail n'aurait ni le dixième de sa pertinence, ni le dixième de son état d'achèvement.

Table des matières

Table des matières	14
Table des illustrations : figures	16
Table des illustrations : tableaux.....	18
Introduction.....	19
1. Préambule	20
1.1. Alimentation.....	20
1.1.1. Energie	20
1.1.2. Formule d'Atwater et d'Atwater modifiée	22
1.1.3. Thermogénèse	22
1.1.4. Balance énergétique	23
1.1.5. Besoins énergétiques.....	23
1.1.6. Densité énergétique	24
1.2. Statistiques.....	24
1.3. Epidémiologie.....	25
2. Méta-analyse.....	25
2.1. Définition des enjeux	26
2.2. Vers une équation allométrique $BEE = \alpha \cdot P^\beta (\cdot age^\gamma)$	27
2.2.1. Le poids métabolique P^β	27
2.2.2. Le facteur multiplicateur $\alpha = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$	28
2.3. Les différentes équations proposées par la littérature	30
2.3.1. Influence de la race.....	33
2.3.2. Influence de l'activité physique et de l'environnement.....	33
2.3.2.1. Activité physique.....	33
2.3.2.2. Mode d'élevage	34
2.3.2.3. Comportement	34
2.3.2.4. Anxiété	34
2.3.2.5. Température ambiante.....	34
2.3.3. Influence du statut physiologique (stérilisé ou non).....	36
2.3.4. Influence de l'âge.....	37
2.3.5. Influence de l'état de santé	38
3. Travail expérimental : constitution d'un échantillon.....	38
3.1. Réalisation d'un questionnaire	38
3.2. Saisie de données.....	39
3.2.1. Critères de saisie.....	39
3.2.1.1. Critères administratifs	39
3.2.1.2. Critères physiologiques.....	39
3.2.1.3. Critères d'alimentation stricts	40
3.2.1.4. Critères d'exclusion.....	40
3.2.2. Rations composées d'un unique aliment industriel	41
3.2.3. Rations mixtes : rations ménagères ou composées de plusieurs aliments.....	41
3.3. Description de l'échantillon	41

4.	Analyse statistique	52
4.1.	Outils statistiques.....	52
4.2.	Mise en place d'une équation allométrique.....	53
4.2.1.	Travail préliminaire.....	53
4.2.1.1.	Restriction de l'échantillon	53
4.2.1.1.1.	Facteur poids actuel et poids idéal	53
4.2.1.1.2.	Facteur maladie intercurrente.....	53
4.2.1.2.	Détermination du poids métabolique : régression linéaire	53
4.2.1.3.	Définition de la variable réponse.....	55
4.2.1.4.	Modification des facteurs	56
4.2.1.4.1.	Marque de l'aliment et lieu d'achat	56
4.2.1.4.2.	Race	57
4.2.1.4.3.	Facteurs non modifiés.....	61
4.2.1.4.4.	Bilan : facteurs finaux.....	61
4.2.2.	Détermination des k_i	61
4.2.2.1.	Méthode statistique	61
4.2.2.2.	Lien entre l'animal et l'étudiant	62
4.2.2.3.	Race.....	64
4.2.2.4.	Statut physiologique	66
4.2.2.5.	Mode de vie	68
4.2.2.6.	Tempérament	68
4.2.2.7.	Type d'alimentation.....	69
4.2.2.8.	Gamme de l'aliment	71
4.2.3.	Equation allométrique : bilan	71
4.3.	Epidémiologie descriptive : prévalence du surpoids et facteurs de risques associés	73
4.3.1.	Méthodologie	74
4.3.2.	Facteur race	74
4.3.3.	Facteur lien entre l'animal et l'étudiant.....	76
4.3.4.	Facteur âge	78
4.3.5.	Facteur sexe et statut physiologique.....	79
4.3.6.	Facteur tempérament.....	80
4.3.7.	Facteur mode de vie	81
4.3.8.	Facteur type d'alimentation	82
4.3.9.	Facteur densité énergétique	83
4.3.10.	Facteur gamme de l'aliment.....	86
4.3.11.	Facteur nombre de repas par jour.....	87
4.3.12.	Facteur affection intercurrente	88
4.3.13.	Epidémiologie descriptive : bilan.....	90
5.	Discussion.....	91
	Conclusion	105
	Agrément scientifique.....	106
	Bibliographie.....	107
	Annexe 1 : Questionnaire utilisé pour la constitution de l'échantillon.....	i

Annexe 2 : Résultats des tests de Bartlett (H_0 : les variances entre les groupes ne sont pas homogènes).....	ii
Annexe 3 : Proposition d'un nouveau questionnaire pour l'acquisition des données	iii

Table des illustrations : figures

Figure 1 : Effet de la température ambiante sur les besoins énergétiques, d'après Hammel (1958) et le National Research Council (NRC, 2006 ; Hammel et al., 1958)	35
Figure 2 : Effet de la température ambiante sur les besoins énergétiques de chiens de race labrador (••Δ••), huskies sibériens (-•-) et beagles (- • -) maintenus en chenil avec accès à un parcours extérieur, sur une période de 10 mois, à Allentown, Pennsylvanie, Etats Unis d'Amérique. (Finke, 1991).....	36
Figure 3 : Evolution des besoins énergétiques ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-0,67} \cdot \text{jour}^{-1}$) en fonction de l'âge, chez le chien. Etude transversale : à chaque individu correspond un point unique. (Finke, 1994).....	37
Figure 4 : Description de l'échantillon en fonction de l'année de saisie du questionnaire ($n_{\text{tot}}=562$)....	42
Figure 5 : Description de l'échantillon en fonction du lien de l'animal avec l'étudiant ayant saisi le questionnaire ($n_{\text{tot}}=562$)	42
Figure 6 : Description de l'échantillon en fonction de l'âge (an) ($n_{\text{tot}}=562$)	43
Figure 7 : Description de l'échantillon en fonction de la race, chiens de race uniquement ($n=418$). Sont considérés comme appartenant à une race les chiens dont le type racial est clairement identifié (par exemple un « croisé Labrador » a été considéré comme un Labrador.....	44
Figure 8 : Description de l'échantillon en fonction du sexe et du statut physiologique ($n_{\text{tot}}=562$)	45
Figure 9 : Description de l'échantillon en fonction du poids idéal (kg).....	46
Figure 10 : Description de l'échantillon en fonction du rapport $\frac{\text{Poids}_{\text{actuel}}}{\text{Poids}_{\text{idéal}}} (\%)$	46
Figure 11 : Description de l'échantillon en fonction du mode de vie ($n_{\text{tot}}=562$)	47
Figure 12 : Description de l'échantillon en fonction du tempérament ($n_{\text{tot}}=562$)	47
Figure 13 : Description du sous ensemble d'échantillon présentant une pathologie ($n=60$)	48
Figure 14 : Description de l'échantillon en fonction de la marque d'aliment utilisée ($n_{\text{tot}}=562$).....	49
Figure 15 : Description du sous échantillon ayant une alimentation non composée en fonction du lieu d'achat de l'aliment ($n_{\text{tot}}=508$)	50
Figure 16 : Description de l'échantillon en fonction du type d'alimentation utilisée ($n_{\text{tot}}=562$)	51
Figure 17 : Description de l'échantillon en fonction du nombre de repas distribués par jour ($n_{\text{tot}}=562$)	52
Figure 18 : Description de l'échantillon en fonction de la gamme d'aliment utilisée ($n_{\text{tot}}=319$)	57
Figure 19 : Description du sous-échantillon en fonction de la race. Les chiens appartenant à un type racial y sont comptés comme appartenant à la race ($n=259$).....	58
Figure 20 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction de la race. 1=labrador ($n=25$), 2=golden retriever ($n=13$), 3= border collie ($n=14$), 4=berger belge ($n=14$), 5=berger allemand ($n=12$), 6=beauceron ($n=9$), 7=fox terrier ($n=11$), 8=yorkshire terrier ($n=10$).....	59
Figure 21 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction de la race. 1=fox terrier ($n=11$), 2=terrier écossais ($n=2$), 3=cairn terrier ($n=2$), 4=terrier jack Russel ($n=3$), 4=yorkshire terrier ($n=10$).	60
Figure 22 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction du lien animal-étudiant. 0=Non renseigné. 1=étudiant lui-même. 2=parents. 3=famille non parents. 4=autre étudiant. 5=autre.	62

Figure 23 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction du lien animal-étudiant. ...	63
Figure 24 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction de la race (pour tout n≥8). 1=Labrador, 2=berger belge, 3=Border collie, 4=golden retriever, 5=berger allemand, 6=fox terrier, 7=yorkshire terrier, 8=beauceron, 9=épagueul breton, 10=berger des Pyrénées.....	64
Figure 25 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction du statut physiologique. 1=femelles non stérilisées. 2=mâles non stérilisés. 3=femelles stérilisées. 4=mâles stérilisés. 5=femelles non renseignées. 6=mâles non renseignés.....	66
Figure 26 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du statut physiologique. 1=femelles non stérilisées et femelles non renseignées. 2=mâles non stérilisés et mâles non renseignés. 3=femelles stérilisées. 4=mâles stérilisés.	67
Figure 27 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du mode de vie.	68
Figure 28 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du tempérament.....	68
Figure 29 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du type d'alimentation. 1=croquettes. 2=alimentation humide. 3= mélange d'aliments industriels. 4=mélange industriel + ration ménagère. 5=ration ménagère.....	69
Figure 30 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction de la gamme de l'aliment. 1=<3€/kg. 2=≥3€/kg. 3=BARF, inconnus et introuvables. 4=ration complexe.....	71
Figure 31 : Modèle de calcul du besoin énergétique d'entretien des chiens de compagnie français, en connaissance des facteurs de variation.	73
Figure 32 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la race. 1=Croisé, 2=Labrador, 3=Golden retriever, 4=Epagueul breton, 5=Berger allemand, 6=Berger belge, 7=Border collie, 8=Yorkshire terrier, 9=Fox terrier, 10=Setter anglais, 11=Beauceron, 12=Berger des Pyrénées, 13=Autres.	75
Figure 33 : répartition de l'état d'embonpoint en fonction du lien entre l'animal étudié et l'étudiant ayant rempli le questionnaire.	77
Figure 34 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de l'âge.	78
Figure 35 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du statut physiologique (NS= Non stérilisé, S=Stérilisé, NR=Non Renseigné).	79
Figure 36 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du tempérament.	81
Figure 37 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du mode de vie.....	82
Figure 38 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du type de ration.	83
Figure 39 : Estimation de densité des densités énergétiques en fonction du type de ration.	84
Figure 40 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la densité énergétique.....	85
Figure 41 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la gamme de l'aliment.	87
Figure 42 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du nombre de repas distribués dans la journée.	88
Figure 43 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la présence ou non d'affection intercurrente	89
Figure 44 : Comparaison de modèles pour le calcul du besoin énergétique d'entretien d'un chien sain adulte entre 0 et 80kg. NRC, 2006 : $132 \cdot P^{0,75}$. BSAVA, 1996 : $110 \cdot P^{0,75}$. Kronfeld, 1991 : $156 \cdot P^{0,67}$. Modèle 1 : $119 \cdot P^{0,73}$. Modèle 2 : $128 \cdot P^{0,73} \cdot \text{age}^{-0,050}$. Modèle 3 : $124 \cdot P^{0,74} \cdot \text{age}^{-0,061}$ (tous $k_i=1$).....	97
Figure 45 : Comparaison de modèles pour le calcul du besoin énergétique d'entretien d'un chien sain adulte entre 0 et 10kg. NRC, 2006 : $132 \cdot P^{0,75}$. BSAVA, 1996 : $110 \cdot P^{0,75}$. Kronfeld, 1991 : $156 \cdot P^{0,67}$. Modèle 1 : $119 \cdot P^{0,73}$. Modèle 2 : $128 \cdot P^{0,73} \cdot \text{age}^{-0,050}$. Modèle 3 : $124 \cdot P^{0,74} \cdot \text{age}^{-0,061}$ (tous $k_i=1$).....	97

Table des illustrations : tableaux

Tableau 1 : Prévalence du surpoids et de l'obésité, chez le chien adulte.....	26
Tableau 2 : Facteurs de correction du besoin énergétique liés à la race (Blanchard, 2008)	29
Tableau 3 : Facteurs de correction du besoin énergétique liés au tempérament (Blanchard, 2008) ..	29
Tableau 4 : Equations allométriques permettant de décrire le besoin énergétique des chiens adultes dans la littérature	30
Tableau 5 : Résultats obtenus à partir de la régression linéaire sur $\ln(BEE) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P) + \gamma \cdot \ln(age)$. D'après R version 3.2.2 (2015-08-14).....	54
Tableau 6 : Résultats obtenus à partir de la régression linéaire sur $\ln(BEE) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P)$. D'après R version 3.2.2 (2015-08-14).....	55
Tableau 7 : Récapitulatif des facteurs retenus pour l'étude et du nombre de niveaux qui les composent.....	61
Tableau 8 : Seuil de significativité en fonction du nombre de comparaison (correction de Bonferroni)	62
Tableau 9 : P-values des tests de Wilcoxon bivariés entre les races dont $n \geq 8$ et les autres (ensemble des chiens pour lesquels $n < 8$).	65
Tableau 10 : comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet race.....	65
Tableau 11 : Comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet sexe et statut physiologique.....	66
Tableau 12 : Comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet tempérament.....	69
Tableau 13 : Comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet type d'alimentation	70
Tableau 14 : Résultats obtenus à partir de la régression linéaire sur $\ln(BEE) - \sum_{i=1}^5 \ln(k_i) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P) + \gamma \cdot \ln(age)$. D'après R version 3.2.2 (2015-08-14)	72
Tableau 15 : table de contingence entre l'état d'embonpoint et un facteur dont l'influence sur l'état d'embonpoint est étudiée.....	74
Tableau 16 : Etude de la race comme facteur de risque lié au surpoids. ¹ Le groupe témoin se définit par tous les animaux de l'échantillon n'appartenant pas à la race étudiée. Les cases grisées correspondent à $p < 0,05$	75
Tableau 17 : Etude du lien de l'animal avec le milieu vétérinaire comme facteur de risque lié au surpoids.	77
Tableau 18 : Etude de l'âge comme facteur de risque lié au surpoids.	78
Tableau 19 : Etude du statut physiologique comme facteur de risque lié au surpoids.....	80
Tableau 20 : Etude du tempérament comme facteur de risque lié au surpoids.	81
Tableau 21 : Etude du type de ration comme facteur de risque lié au surpoids	83
Tableau 22 : définition des sous-groupes pour l'étude de la densité énergétique comme facteur de risque lié au surpoids.....	84
Tableau 23 : Etude de la densité énergétique comme facteur de risque lié au surpoids.....	86
Tableau 24 : Etude du nombre de repas distribués quotidiennement comme facteur de risque lié au surpoids.	88
Tableau 25 : Etude de la présence ou non d'affection intercurrente comme facteur de risque associé au surpoids.	89
Tableau 26 : Comparaison du modèle décrivant le besoin énergétique d'entretien d'un chien adulte sain proposé avec celui du NRC (NRC, 2006) pour un chien de compagnie sans effet de race, mode de vie, activité ou type de ration (en kcal.jour ⁻¹). Le chiffre entre parenthèse indique le pourcentage de différence entre les deux modèles.	96

Introduction

Veiller à une alimentation de qualité pour son chien de compagnie : voilà qui devrait rester à l'esprit de tout propriétaire attentif au bien être de son animal. En effet, le meilleur ami de l'homme n'est en rien différent de son propriétaire quant aux conséquences dramatiques que peut avoir une alimentation déséquilibrée d'un point de vue énergétique. Le surpoids et l'obésité chez le chien sont des sujets très étudiés en médecine vétérinaire, notamment outre Atlantique. Le constat y est alors accablant : le surpoids atteint jusqu'à 2 chiens sur 5 ! Cela traduit un net manque d'intérêt et/ou de connaissances vis-à-vis du bien-être des chiens de compagnie.

Pourtant, l'Homme contrôle l'intégralité des apports énergétiques du chien de compagnie. Ainsi, comment peut-on laisser échapper ce contrôle jusqu'à compromettre la santé de nos compagnons ? Peut-être est-ce parce que les notions actuelles en alimentation des carnivores sont obsolètes ou incomplètes ?

Cette étude est la première en France à s'intéresser aux besoins énergétiques des chiens de compagnie et aux facteurs les faisant varier. Par ailleurs, la situation en France est elle aussi dramatique que sur le continent américain ?

Après une revue bibliographique présentant l'essentiel des résultats parus sur ce sujet complexe, une étude statistique sur un large échantillon de chiens de compagnie français sera présentée afin de mettre en évidence les caractéristiques de l'alimentation du chien de compagnie en bonne santé sous nos latitudes.

1. Préambule

La définition de certains concepts s'impose afin d'appréhender au mieux cette étude. Ainsi, cette section a pour but d'introduire les notions clefs permettant d'analyser les données qui seront présentées ultérieurement, afin d'éviter d'éventuelles confusions.

1.1. Alimentation

D'après le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, l'alimentation se définit comme « *l'action de fournir à un être vivant ou de se procurer à soi-même les éléments nécessaires à la croissance, à la conservation* ». Pour un organisme animal, hétérotrophe¹ par essence, cela est défini par l'ensemble des éléments qu'il ingère, permettant son bon fonctionnement et donc sa survie.

1.1.1. Energie

L'énergie chimique contenue dans un aliment n'est pas aisément accessible. Cependant, son utilisation par l'organisme résulte essentiellement en la production de chaleur, pouvant être mesurée. Elle est exprimée en calories ou en joules. Une calorie correspond à la chaleur nécessaire pour faire passer la température d'un gramme d'eau de 14,5 à 15,5°C. C'est par conséquent une unité très faible, la rendant difficile d'emploi. On utilise en pratique la kilocalorie (kcal) correspondant à 1000 calories. Certaines références définissent la « grande calorie » (Cal) comme 1 Cal = 1 kcal. Cette notation, source évidente de confusion, est à éviter en pratique. Le kilojoule (kJ) est une unité définie comme l'énergie mécanique requise pour qu'une force de 1 Newton déplace un poids de 1 kg sur une distance de 1 m. Les deux unités sont interchangeables, sachant que 1 kcal = 4,184 kJ. En pratique, et pour le reste de ce travail, les énergies seront exprimées en kcal.

L'énergie est obtenue par l'organisme à partir des apports nutritifs, au travers de nombreuses et complexes réactions chimiques, régulées par des enzymes spécifiques. Nombre de ces enzymes requièrent la présence de vitamines ou de minéraux pour fonctionner correctement.

¹ Se dit d'un organisme qui ne peut pas synthétiser par lui-même les substances organiques dont il se nourrit. S'oppose à un organisme autotrophe, tel que la majorité des végétaux, pouvant synthétiser des sucres à partir du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère, grâce à la photosynthèse.

Aucun animal n'est capable d'utiliser la totalité de l'énergie contenue dans la nourriture. Les apports énergétiques sont, par conséquent, considérés à trois niveaux différents : l'énergie brute ou « gross energy », l'énergie digestible ou « digestible energy » et l'énergie métabolisable ou « metabolisable energy ».

L'énergie brute est la quantité de chaleur générée par l'aliment lorsqu'il est intégralement oxydé dans un environnement d'oxygène pur. C'est la quantité d'énergie maximale pouvant être libérée, elle est mesurée par calorimétrie directe. Même si une substance possède une énergie brute élevée, c'est inutile pour l'animal s'il n'est pas capable de la digérer et de l'absorber (exemple du bois).

L'énergie digestible est l'énergie disponible dans un aliment lorsqu'il est absorbé après digestion et est calculée comme l'énergie brute de l'aliment moins l'énergie brute contenue dans les selles. L'énergie digestible est partiellement disponible pour les tissus, avec une partie perdue dans les urines, essentiellement sous la forme de produits terminaux du métabolisme protéique.

L'énergie utilisée *in fine* par les tissus constitue **l'énergie métabolisable** et se calcule donc en soustrayant l'énergie perdue dans les urines à l'énergie digestible.

Les énergies digestibles et métabolisables relatives à un aliment dépendent de sa composition et de l'espèce qui le consomme. Le système digestif des animaux varie considérablement entre les espèces. S'additionne à cette variabilité interspécifique une variabilité intraspécifique, particulièrement présente dans l'espèce canine, en lien avec les variations de format considérables et la longue sélection effectuée par l'Homme.

La seule manière d'obtenir une mesure fiable de l'énergie métabolisable contenue dans un aliment est d'en nourrir un grand nombre d'animaux et de mesurer par calorimétrie l'énergie de l'aliment, des selles et des urines. De tels protocoles sont coûteux en argent et en temps et ne peuvent être mis en œuvre qu'avec un équipement spécialisé. Cependant, des formules simples d'emploi ont été développées et proposent des approximations fiables de l'énergie métabolisable d'un aliment, en considérant sa teneur en matières grasses, en protéines et en glucides.

1.1.2. Formule d'Atwater et d'Atwater modifiée

L'énergie brute d'un aliment est fonction de sa composition en protéines, en matières grasses et en glucides. En effet, un gramme de protéines contient 5,65 kcal, un gramme de matières grasses 9,40 kcal et un gramme de glucide 4,15 kcal. Ainsi l'énergie brute contenue dans un aliment peut se calculer avec :

$$EB(kcal.g^{-1}) = 5,65 \cdot PB + 9,40 \cdot MG + 4,15 \cdot ENA$$

Où PB, MG et ENA correspondent aux teneurs respectives de l'aliment en protéines brutes, en matière grasse et en extractibles non azotés, contenues dans un gramme de l'aliment considéré.

Cependant, comme mentionné précédemment, l'efficacité incomplète de la digestion, de l'absorption et de la métabolisation des nutriments conduit à des pertes fécales et urinaires.

En alimentation humaine, les coefficients d'Atwater de 4-9-4 kcal.g⁻¹ sont couramment utilisés pour estimer l'énergie métabolisable contenue respectivement dans les glucides, les matières grasses et les protéines. Ces facteurs ont été calculés en considérant une digestibilité estimée à 96% pour les matières grasses et les glucides et 91% pour les protéines, dans les matières premières consommées par l'Homme (Case, 2011).

Les coefficients d'Atwater sont appliqués chez le chien et le chat pour estimer l'énergie métabolisable contenue dans les matières premières utilisées dans les rations ménagères.

Les données collectées sur la digestibilité des aliments chez le chien et le chat nourris avec des aliments industriels ont montré que les coefficients d'Atwater tendaient à surestimer les valeurs d'énergie métabolisable des aliments. Ces observations ont conduit à l'établissement de nouveaux facteurs de 3,5, 8,5 et 3,5, respectivement pour les protéines, les matières grasses et les glucides. Ces facteurs définissent l'équation dite d'Atwater modifiée (Case, 2011).

1.1.3. Thermogénèse

La thermogénèse correspond à l'accroissement des besoins énergétiques au-dessus de leur niveau basal, incluant le coût de digestion et d'absorption des nutriments (thermogénèse alimentaire), le travail musculaire lors d'un effort, d'un stress ou encore le maintien de la température corporelle dans un environnement froid. Certains médicaments ou hormones

peuvent également induire de la thermogénèse. Contrairement au métabolisme de base, l'intensité de la thermogénèse peut causer des modifications considérables dans les besoins journaliers.

1.1.4. Balance énergétique

Un animal est considéré à l'équilibre énergétique si ses dépenses énergétiques sont égales à ses apports. Le résultat est donc que la quantité d'énergie stockée par l'organisme demeure inchangée, aussi, le poids de l'animal reste constant.

Chez les animaux, l'énergie est essentiellement stockée sous forme de graisse, dans le tissu adipeux. Il est possible de diminuer les réserves adipeuses en réduisant les apports jusqu'à ce qu'ils soient inférieurs aux dépenses. Sous cette condition d'équilibre négatif, l'organisme doit cataboliser ses propres tissus afin d'obtenir l'énergie requise, ceci générant une perte de masse pondérale.

L'équilibre énergétique est obtenu par égalité des dépenses et des apports sur une longue période. Un déséquilibre, même mineur, maintenu sur une longue période, génère une prise ou une perte de poids, selon que le déséquilibre est positif ou négatif. Par exemple, si l'on considère un chien de 35kg, ayant des besoins d'environ 1580 kcal par jour, si l'estimation des besoins est surévaluée de seulement 100 kcal (environ 30 g de croquettes) et que le déséquilibre est maintenu sur une période de un an, l'animal peut prendre plus de 4 kg (soit plus de 10% de son poids initial).

1.1.5. Besoins énergétiques

Le **Besoin Énergétique lié au Métabolisme de Base (BEMB)** se définit comme l'énergie requise pour maintenir l'homéostasie chez un animal à jeun, allongé, éveillé, placé dans un environnement thermoneutre² auquel il est acclimaté (NRC, 2006). Le **Besoin Énergétique de Repos (BER)** est mesuré dans les mêmes conditions, à l'exception que l'animal peut être en phase de digestion.

Le **besoin énergétique d'entretien (BEE)** correspond au besoin énergétique lié au métabolisme de base auquel s'additionne les besoins liés à la thermogénèse. Il varie par

² Se définit par un environnement dont la température ambiante n'induit pas de dépense énergétique liée à la thermorégulation, en pratique pour le chien adulte entre 25 et 30°C (NRC, 2006)

conséquent avec tous les facteurs affectant la production de chaleur. C'est par ailleurs l'énergie requise pour atteindre l'équilibre énergétique.

1.1.6. Densité énergétique

La densité énergétique correspond au nombre de calories contenues dans une masse donnée d'un aliment. On l'exprime généralement comme l'énergie métabolisable contenue dans un kilogramme d'aliment. C'est le principal facteur déterminant le volume alimentaire consommé chaque jour et, par conséquent, la quantité de chaque nutriment ingérée par l'animal (Kelly, 1996). La densité énergétique d'une ration doit être suffisamment élevée pour permettre à l'animal de consommer une quantité suffisante d'aliment pour couvrir ses besoins énergétiques.

En effet, si la densité énergétique est trop faible, la quantité d'aliment ingérée sera restreinte par les limites physiques du tractus digestif, générant un déficit énergétique. A l'opposé, lorsque la densité énergétique augmente, le volume d'aliment nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques diminue.

Par conséquent, nourrir un animal avec des aliments très appétants et ayant une densité énergétique élevée peut rapidement le conduire à ne plus réguler la quantité ingérée par rapport à ses besoins réels, et à prendre du poids.

1.2. Statistiques

Les statistiques servent à quantifier un paramètre de population. On définit pour cela une variable que l'on va mesurer sur chaque unité d'un échantillon représentatif d'une population. Les statistiques inférentielles ont pour but de généraliser les observations réalisées sur un échantillon à la population dont il est représentatif. C'est le cas de toutes les études abordées dans ce manuscrit. Les résultats présentent des caractéristiques statistiques telles que celles de position (moyenne, quartiles) ou de dispersion (variance, écart-type), qui en favorisent l'analyse.

En d'autres termes, les statistiques sont la science des variabilités et ont pour but de mettre en évidence des différences entre les variabilités de plusieurs groupes d'individus vis-à-vis d'une unité statistique donnée (variable). Par exemple, si l'on compare la variabilité de la taille des hommes par rapport à celle des femmes on conclut que les hommes sont plus grands que les femmes. Cependant, certains hommes sont plus petits que certaines femmes, cela est

dû à une variabilité intraspécifique élevée. Le problème que pose ce type d'études est d'étudier un échantillon réellement représentatif de la population et suffisamment grand pour y être extrapolé raisonnablement.

1.3. Epidémiologie

L'épidémiologie correspond à l'étude des maladies dans les populations et des facteurs de santé qui déterminent leur apparition. On définit un **facteur de risque** (ou un indicateur de risque) comme un facteur associé à l'augmentation de la probabilité d'apparition ou de développement d'un phénomène pathologique. Un facteur de risque est une variable liée statistiquement à la maladie, sans qu'il y ait forcément de lien de causalité (c'est-à-dire qu'il est impossible de conclure lequel du facteur de risque ou de la maladie est la cause ou la conséquence).

Le **risque relatif** permet de quantifier l'intensité de la relation facteur – pathologie. Il correspond au risque de développer la maladie lorsqu'il y a exposition au facteur de risque. Lors d'une enquête cas-témoin³, comme c'est le cas ici, on calcule le rapport de cote, ou **Odds-Ratio (OR)**, qui correspond au rapport de probabilité d'un évènement sur son complément. En d'autres termes, c'est le rapport entre la probabilité d'être malade chez les individus exposés et celle d'être malade chez les individus non exposés.

Dans ce type d'études, l'OR permet une approximation du risque relatif et est interprété de la même manière : le test est significatif lorsque l'intervalle de confiance contenant 95% des valeurs ne contient pas 1. Ainsi, lorsque l'OR est supérieur à 1 on conclue à un facteur de risque, et lorsqu'il est inférieur à 1 à un facteur protecteur.

2. Méta-analyse

Cette section fait un état des lieux des modèles proposés dans la littérature pour calculer les besoins énergétiques du chien adulte : comment l'approximer ? Dans quelles conditions ? Avec quelles limites ?

³ Les études cas-témoins sont utilisées pour mettre en évidence des facteurs qui peuvent contribuer à l'apparition d'une maladie en comparant des sujets qui ont cette maladie (les cas) avec des sujets qui n'ont pas la maladie mais qui sont similaires par ailleurs (les témoins).

2.1. Définition des enjeux

Le surpoids puis l'obésité sont des conséquences inévitables d'un apport énergétique supérieur aux besoins. La prévalence rapportée du surpoids et de l'obésité chez le chien est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Prévalence du surpoids et de l'obésité, chez le chien adulte

Localisation	Taille de l'échantillon	Prévalence (%)	Référence
Angleterre	1000	28,0	Mason (1970)
Angleterre et Ecosse	8266	24,3	Edney et Smith (1986)
Etats-Unis (école vétérinaire)	77	22,9	Donogue <i>et al.</i> (1991)
Etats-Unis (nord)	289	40,0	Glickman <i>et al.</i> (1995)
Australie (Ouest)	657	25,2	Robertson (2003)
Australie	2661	41,1	McGreevy <i>et al.</i> (2005)
Etats-Unis	21754	34	Lund <i>et al.</i> (2006)

La prévalence de l'obésité montre qu'il s'agit du désordre nutritionnel le plus fréquent chez le chien (McGreevy *et al.*, 2005). Elle est associée à de nombreuses affections telles que les maladies respiratoires (Andersen et Lewis, 1980), les maladies métaboliques (Fettman *et al.*, 1997) ou encore les maladies cardiovasculaires et squelettiques (Edney et Smith, 1986). Le surpoids peut également réduire la longévité et la qualité de vie (Kealy *et al.*, 2002). Par conséquent, l'obésité est une maladie qui doit impérativement être prévenue chez le chien de compagnie.

Les facteurs de risque associés à l'obésité habituellement décrits dans la littérature sont l'âge, certaines races (cocker, labrador, golden retriever, dalmatien, teckel, rottweiler, berger des Shetlands, croisés), le fait d'être stérilisé, le fait d'être une femelle, le fait de consommer des restes de table, et le fait de consommer essentiellement une alimentation semi-humide (Lund *et al.*, 2006 ; McGreevy *et al.*, 2005).

En outre, dans un questionnaire distribué aux cliniques australiennes pour petits animaux par McGreevy *et al.* (2005), les vétérinaires ont considéré que le facteur contribuant

le plus à ce problème est la suralimentation. Le constat est donc que les propriétaires de chiens de compagnie nourrissent trop leurs compagnons.

2.2. Vers une équation allométrique $BEE = \alpha \cdot P^\beta (\cdot age^\gamma)$

En médecine humaine, en 1985, le comité mixte d'experts FAO⁴/WHO⁵/UNU⁶ sur les besoins énergétiques a exprimé les besoins énergétiques des adultes comme des multiples des besoins énergétiques liés au métabolisme de base (Black *et al.*, 1996). C'est l'approche ici utilisée. Elle est actuellement utilisée en médecine humaine et vétérinaire, et permet le calcul des besoins énergétiques d'entretien d'un individu sous la forme $BEE = k \cdot BEMB$ où k fait référence à tous les facteurs de variation des besoins énergétiques liés à la thermogénèse combinés et, BEMB, aux besoins énergétiques liés au métabolisme de base.

2.2.1. Le poids métabolique P^β

Le **poids métabolique** est un paramètre d'importance chez le chien, espèce où le poids corporel peut varier chez les adultes de moins de 1 à plus de 100 kg. D'un point de vue physiologique, le besoin énergétique d'animaux ayant des poids très différents n'est pas directement lié au poids corporel mais à ce dernier élevé à une certaine puissance, P^β , où β est un exposant calculé à partir de données expérimentales. Le poids métabolique P^β est ainsi le concept central permettant d'estimer les besoins énergétiques au sein d'une espèce, indépendamment des variations pondérales importantes qu'elle admet.

Brody (1934) a démontré que la production basale de chaleur chez les animaux à sang chaud, de la souris à l'éléphant, était proportionnelle à $P^{0,73}$. Kleiber (1961) proposa par la suite l'utilisation de $P^{0,75}$, plus facile à calculer avant l'avènement des méthodes modernes de calcul (NRC, 2006).

D'autres raisonnements, tels celui d'Heusner (1982) et Hill (2004), découlent du fait que les dépenses ou les besoins énergétiques peuvent idéalement être mesurés en termes de perte ou de production thermique. Or, les déperditions thermiques varient non pas avec le poids corporel mais avec la surface corporelle, une entité autrement plus complexe à appréhender

⁴ Food and Agriculture Organization : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

⁵ World Health Organization : Organisation mondiale de la Santé (OMS)

⁶ United Nations University : Université des Nations Unies

(Kelly, 1996). Ceci est lié au fait que la peau constitue l'interface de contact entre l'animal et son environnement, c'est donc le lieu où la chaleur métabolique se perd par les phénomènes de dissipation, convection et radiation.

La surface corporelle (SC) peut être estimée du poids de l'animal (P, en kg) avec l'équation suivante :

$$SC = k \cdot P^{0,67}$$

Où k est une constante dépendant de l'animal considéré (Hill et Scott, 2004).

Ainsi, puisque le besoin énergétique est proportionnel à la surface corporelle, qui est elle-même proportionnelle au poids de l'animal élevé à la puissance 0,67, on s'attend à pouvoir estimer le besoin énergétique du chien par une équation de la forme

$$BEE = \alpha \cdot P^{0,67} \text{ où } \alpha \in \mathbb{R}.$$

En pratique, de nombreuses équations allométriques ont été proposées par différents auteurs, montrant que la réalité est plus complexe que ce que la théorie laisse à penser. Ainsi les exposants allométriques varient entre 0,64 et 0,88 respectivement pour des chiens au repos complet dans une chambre calorimétrique (Burger et Johnson, 1991) et chez des chiens ayant des niveaux d'activités plus importants (NRC, 1985). Les résultats de certaines de ces études sont présentés dans le tableau 4.

Ainsi, le poids métabolique semble être une notion difficile à appréhender et son calcul dépendrait de l'échantillon concerné.

2.2.2. Le facteur multiplicateur $\alpha = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$

Outre le poids métabolique, le besoin énergétique d'entretien d'un animal est fonction du métabolisme de base et de tous les facteurs pouvant influencer la thermogénèse. Ces paramètres sont liés à l'activité, au mode d'élevage, au type racial, à l'âge, au statut physiologique ou à une affection intercurrente. En pratique ces différents facteurs sont utilisés comme des facteurs multiplicateurs, inférieurs à 1 lorsqu'ils diminuent les besoins énergétiques de l'animal et supérieurs dans le cas contraire. Une fois ces facteurs définis on peut réécrire l'équation allométrique :

$$BEE = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot P^\beta$$

Où k_i , représente le facteur correcteur associé au paramètre i , ayant un effet sur les besoins énergétiques de l'animal considéré.

Par exemple, un labrador mâle castré placide de 11 ans n'a pas les mêmes besoins énergétiques qu'un montagnard des Pyrénées entier de 3 ans utilisé au troupeau. Ainsi, si l'on considère leurs poids métaboliques comme identiques, il faut définir les facteurs qui permettent de moduler les besoins énergétiques de ces deux individus.

Les facteurs couramment admis pour les chiens sains à l'entretien sont présentés dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2 : Facteurs de correction du besoin énergétique liés à la race (Blanchard, 2008)

Facteur de correction	Condition
0,8	Race nordique, Retriever et apparenté
0,9	Beagle, Cocker
1,1 – 1,2	Lévrier, Dogue allemand
1	Autre

Tableau 3 : Facteurs de correction du besoin énergétique liés au tempérament (Blanchard, 2008)

Facteur de correction	Condition
0,7 – 0,8	Léthargique, très calme
0,9	Calme
1	Normal
1,1	Actif
1,2	Hyperactif

Il est important de noter que ces facteurs, bien que répandus dans la littérature, n'ont pour la plupart pas été prouvés, mais découlent d'observations empiriques de terrain.

2.3. Les différentes équations proposées par la littérature

La littérature actuelle propose un grand nombre d'équations pour le calcul du besoin énergétique d'entretien chez le chien adulte en bonne santé. Certains de ces résultats sont exposés dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Equations allométriques permettant de décrire le besoin énergétique des chiens adultes dans la littérature

¹sous ensemble de la population totale (n=713) ² races miniatures comprenant yorkshire terriers, chihuahuas et teckels ³étude réalisée en Ohio, Wisconsin, Washington State, Arizona et Texas

Référence	Equation proposée	statistiques			Population source
		n	r ²	P-value	
Kienzle et Rainbird, 1991 (NRC, 2006)	$139 \cdot P^{0,75}$	66			Dogues allemands, Terre-Neuves, Briards, Labradors, Beagles, Cairns vivant en chenil
Burger et Johnson, 1991	$162 \cdot P^{0,64}$	22	0,96	<0,001	Races diverses. Mesure en chambre calorimétrique (inactivité totale)
Finke 1991	$117 \cdot P^{0,75}$	6			Beagles vivant en chenil, moyenne annuelle
	$101 \cdot P^{0,75}$	6			Labradors vivant en chenil, moyenne annuelle
	$125 \cdot P^{0,75}$	6			Huskies vivant en chenil, moyenne annuelle
Kronfeld 1991 (Blanchard, 2008)	$156 \cdot P^{0,67}$				
Zentek et Meyer, 1992 (NRC, 2006)	$200 \cdot P^{0,75}$	7			Dogues allemands en chenil extérieur, été
	$250 \cdot P^{0,75}$	7			Dogues allemands en chenil extérieur, hiver

Finke, 1994	$180 \cdot Age^{-0,1321} \cdot P^{0,67}$	20	0,802		femelles Beagles vivant en chenil (âge exprimé en années)
Burger, 1994	$97 \pm 82 \cdot P^{0,75}$	9			Border collies, inactifs
	$124 \pm 88 \cdot P^{0,75}$	28			Border collies, activité modérée
	$175 \pm 170 \cdot P^{0,75}$	10			Border collies, activité importante
Taylor <i>et al.</i> , 1995 (NRC, 2006)	$107 \pm 14 \cdot P^{0,75}$	11			Chiens de laboratoire, races variées, > 8 ans
	$129 \pm 10 \cdot P^{0,75}$	12			Chiens de laboratoire, races variées, < 6 ans
British Small Animal Veterinary Association, 1996	$110 \cdot P^{0,75}$				Avis d'expert
Wichert <i>et al.</i> , 1999 (NRC, 2006)	$95 \pm 40 \cdot P^{0,75}$	28			Chiens de compagnie
Connor <i>et al.</i> , 2000	$105 \cdot P^{0,75}$	48			Chiens de compagnie
Patil et Bisby, 2001 (NRC, 2006)	$94 \pm 50 \cdot P^{0,75}$				Chiens de compagnie de grand format
	$132 \pm 40 \cdot P^{0,75}$				Beagles de laboratoire
	$133 \pm 52 \cdot P^{0,75}$				Chiens de compagnie de taille moyenne
	$138 \pm 32 \cdot P^{0,75}$				Labradors de laboratoire
	$183 \pm 48 \cdot P^{0,75}$				Terriers de laboratoire

Sunvold <i>et al.</i> 2004	$103 \cdot P^{0,67}$	40	0,96	<0,05	Chiens de compagnie américains ³ ne présentant pas de variation de poids pendant l'étude
	$107 \cdot P^{0,67}$	173	0,95	<0,05	Animaux de compagnie américains ³ présentant ou ne présentant pas de variation de poids pendant la durée de l'étude
NRC 2006	$130 \cdot P^{0,75}$				Avis d'expert
Ahlstrøm <i>et al.</i> , 2011	$280 \cdot P^{0,75}$	8			Chiens chassant 3 h et parcourant 18 km jour, en conditions hivernales (Norvège)
Serisier <i>et al.</i> , 2013	$113 \cdot P^{0,75}$	31			Chiens miniatures ² vivant en groupes ayant toujours eu un état corporel optimal
	$86 \cdot P^{0,75}$	11			Chiens miniatures ² vivant en groupes et ayant été obèses dans le passé
Bermingham <i>et al.</i> , 2014	$142 \pm 55 \cdot P^{0,75}$	713	0,64	<0,001	Méta-analyse à partir de 29 publications (70 groupes de traitements différents)
	$146 \cdot P^{0,75}$? ¹			Stérilisés
	$196 \cdot P^{0,75}$? ¹			Non stérilisés
	$165 \cdot P^{0,75}$? ¹			Chasse
	$140 \cdot P^{0,75}$? ¹			Chiens de chenil et de compagnie

Mullis <i>et al.</i> , 2015	$136 \cdot P^{0,75}$	20			Malinois, Labradors, Bergers allemands et Border collies de travail de détection (drogue, explosifs et humains)
--------------------------------	----------------------	----	--	--	---

2.3.1. Influence de la race

Le National Research Council (NRC, 2006) identifie les Terre-neuves, les Dogues allemands et les Terriers vivant en chenil comme ayant des besoins énergétiques supérieurs à la moyenne.

A l'inverse, Bermingham *et al.* (2015) conclut sur une absence de différence significative entre les différents groupes de race qu'il a considéré. Cependant sa classification a été réalisée en fonction de la taille des chiens, indépendamment de leur race.

2.3.2. Influence de l'activité physique et de l'environnement

2.3.2.1. Activité physique

L'activité physique a un effet significatif dans la majorité des études sur le sujet, qu'elles soient isolées ou regroupant plusieurs études (NRC, 2006 ; Bermingham *et al.*, 2014). Par exemple, les chiens de traineau participant à la Yukon Quest ont, en période de course, des besoins énergétiques allant de 830 à 1270 kcal.kg^{-0,75}.jour⁻¹ en fonction des conditions climatiques (Loftus *et al.*, 2014). De la même manière, Ahlstrøm calcule pour des chiens chassant 3 heures et parcourant 18 km par jour, des besoins énergétiques moyens de 280 kcal.kg^{-0,75}.jour⁻¹. Dans ces deux études, l'effet est cependant amplifié par les conditions météorologiques auxquelles sont soumis les chiens, consommant en conditions hivernales plus d'énergie liée à la thermogénèse.

Burger (1994), a démontré pour les chiens de compagnie des besoins énergétiques allant de 97 à 175 kcal.kg^{-0,75}.jour⁻¹, respectivement pour des Border collies de compagnie n'ayant aucune activité physique (n=9) et pour des Border collies ayant une activité physique importante (n=10). Ces données correspondent à un accroissement des besoins énergétiques pour les chiens ayant une activité physique importante de 80% par rapport aux témoins.

2.3.2.2. Mode d'élevage

Le mode d'élevage est directement lié à l'activité du chien. Les animaux de compagnie sans opportunité ou stimuli pour l'exercice physique ont des besoins énergétiques minorés d'entre 10 et 20% par rapport aux chiens de laboratoire (NRC, 2006). De la même façon, les chiens vivant en colonie ont une activité plus importante et donc des besoins énergétiques augmentés (Serisier *et al.*, 2013).

2.3.2.3. Comportement

Il est communément admis, bien que cela n'ait jamais été prouvé, que le comportement de l'animal justifie des facteurs multiplicateurs allant de 0,7 pour un animal léthargique à 1,2 pour un chien hyperactif (Blanchard, 2008).

2.3.2.4. Anxiété

La synthèse de catécholamines chez les animaux stressés augmente l'activité métabolique. Par exemple, lorsque des animaux sont placés dans des chambres closes à des fins expérimentales, la consommation d'oxygène est initialement très élevée mais diminue lorsque l'animal s'habitue à son environnement (NRC, 2006).

Bien que difficile à quantifier, le stress est responsable d'un surcroît de besoins énergétiques. Cela est à corréluer avec l'environnement, en gardant à l'esprit que la variabilité individuelle est vraisemblablement considérable pour ce facteur, et en lien étroit avec le comportement de l'individu.

2.3.2.5. Température ambiante

Les animaux homéothermes tels que les chiens ou les chats doivent maintenir une température corporelle constante afin d'assurer leur survie. Les mécanismes impliqués, qu'ils aient pour but de réchauffer ou de refroidir le corps, consomment de l'énergie. On définit la zone de neutralité thermique comme l'intervalle de température ambiante pour lequel l'homéothermie est assurée sans surcroît d'activité métabolique. Cet intervalle est compris entre la température critique minimale et maximale, définies pour chaque animal (voir figure 1).

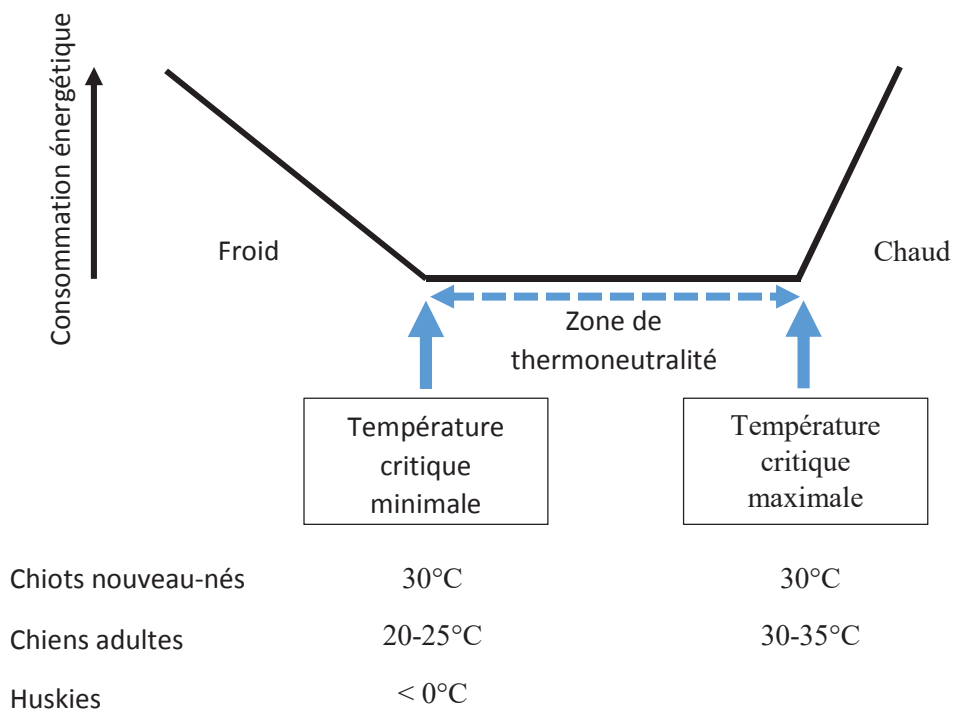


Figure 1 : Effet de la température ambiante sur les besoins énergétiques, d'après Hammel (1958) et le National Research Council (NRC, 2006 ; Hammel et al., 1958)

Les températures critiques peuvent varier au sein même d'une espèce selon la race considérée. Par exemple, Zentek et Meyer (2002), ayant travaillé sur des dogues allemands, ont calculé des besoins énergétiques variant de 200 à 250 kcal.kg^{-0,75}.jour⁻¹ entre hiver et été, ce qui correspond à une augmentation des besoins énergétiques de 25% durant la période hivernale. Finke (1991) a étudié les besoins énergétiques de chiens en chenil sur une période de 10 mois et a mis en évidence une différence significative des besoins énergétiques entre l'été et l'hiver chez les chiens de race Labrador et Beagle alors que cette différence n'est pas significative chez les chiens de race Husky (voir figure 2).

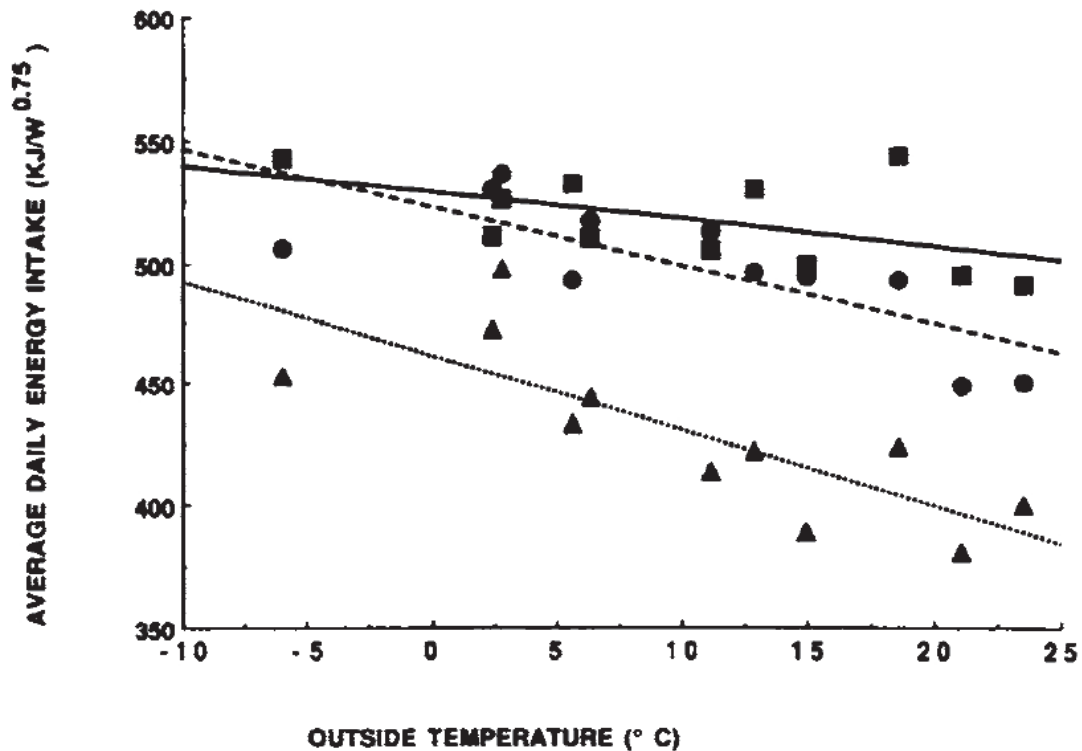


Figure 2 : Effet de la température ambiante sur les besoins énergétiques de chiens de race labrador (••Δ••), huskies sibériens (—■—) et beagles (—●—) maintenus en chenil avec accès à un parcours extérieur, sur une période de 10 mois, à Allentown, Pennsylvanie, Etats Unis d'Amérique. (Finke, 1991)

Une autre étude, réalisée en conditions hivernales sur des chiens de chasse en Norvège (Ahlstrøm *et al.*, 2011), conclut sur un besoin énergétique de $280 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-0,75} \cdot \text{jour}^{-1}$. Ceci correspond, lorsque comparé à l'équation proposée pour les chiens de chasse par Bermingham, 2014 ($165 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-0,75} \cdot \text{jour}^{-1}$), à un facteur multiplicateur de 1,7.

2.3.3. Influence du statut physiologique (stérilisé ou non)

La stérilisation, en supprimant l'influence des hormones sexuelles sur l'organisme, diminue, d'une part, l'activité liée au comportement sexuel et, d'autre part, le métabolisme lui-même.

Chez le chat la stérilisation a un effet univoque sur les besoins énergétiques, avec une diminution significative de la masse maigre chez les animaux stérilisés (NRC, 2006). Ces besoins sont diminués de 20 à 30% après stérilisation (NRC, 2006 ; Mitsuhashi *et al.*, 2011).

Chez le Chien, Bermingham (2014) démontre qu'il existe une différence significative entre les besoins énergétiques des chiens entiers et ceux des chiens stérilisés, ces derniers

ayant des besoins de $146 \text{ kcal.kg}^{-0,75}.\text{jour}^{-1}$ contre $195 \text{ kcal.kg}^{-0,75}.\text{jour}^{-1}$ pour les chiens entiers. Ceci correspondant à un facteur correcteur de 0,75.

2.3.4. Influence de l'âge

Malgré l'effectif considérable de l'échantillon étudié par Bermingham, 2014 (n=713), les besoins des « jeunes adultes » et des « adultes âgés » ne présentent pas de différence significatives avec des besoins respectifs de 166 et 172 $\text{kcal.kg}^{-0,75}.\text{jour}^{-1}$ (p=0,99). Les intervalles d'âge considérés ici ne sont pas communiqués.

D'autres études, comme par exemple les travaux de Finke (1994), traduisent cependant une tendance à la diminution des besoins énergétiques avec l'âge chez le chien, comme le montre la figure 3.

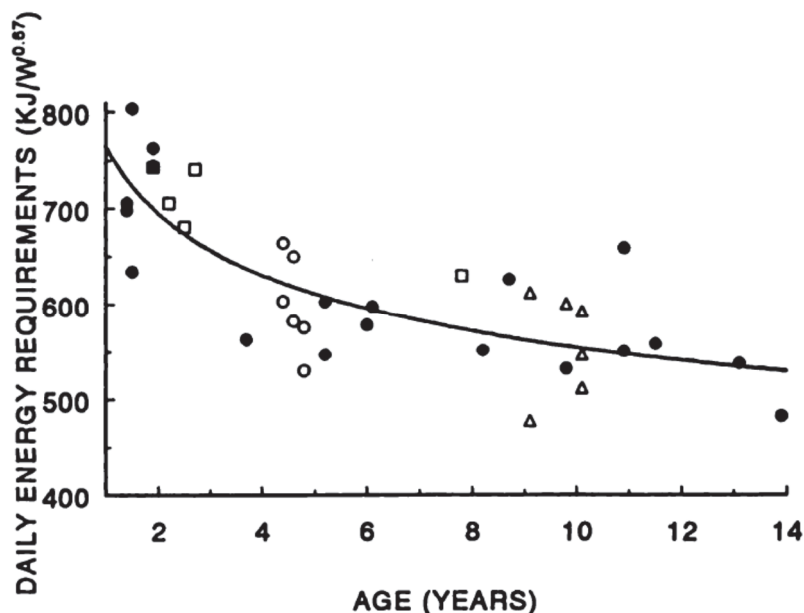


Figure 3 : Evolution des besoins énergétiques ($\text{kJ.kg}^{-0,67}.\text{jour}^{-1}$) en fonction de l'âge, chez le chien. Etude transversale : à chaque individu correspond un point unique. (Finke, 1994)

Cette observation a conduit l'auteur à proposer une équation allométrique prenant en compte l'âge ($BE = 180 \cdot \text{Age}^{-0,1321} \cdot P^{0,67}$). Ceci paraît être une approche plus réaliste que celle couramment admise qui consiste à considérer qu'un chien âgé a des besoins qui diminuent du jour au lendemain de 20% (Blanchard, 2008).

En outre, il est important de noter qu'en nutrition humaine, Black (1996) calcule des besoins énergétiques chez l'homme proportionnels à l'âge élevé à la puissance -0,13.

2.3.5. Influence de l'état de santé

D'autres données, notamment l'étude de Serisier (2013), soulèvent une dernière question. En effet une différence est observée entre le besoin énergétique des chiens ayant été obèses avant l'étude (Note d'Etat Corporel de 7-8-9/9), et ceux dont l'état d'embonpoint a toujours été objectivé comme normal (médianes respectives de 113 et 86 kcal.kg^{-0,75}.jour⁻¹). Pour expliquer cette observation, deux hypothèses sont possibles, la première étant que les chiens anciennement obèses sont ceux dont les besoins énergétiques sont les plus faibles, et la seconde que leur état d'embonpoint passé a diminué leurs besoins énergétiques. Les données actuelles n'apportent aucun élément de réponse, ces deux hypothèses n'étant peut être pas exclusives l'une de l'autre.

3. Travail expérimental : constitution d'un échantillon

Le but de cette étude est de constituer un ensemble de chien permettant d'estimer les besoins énergétiques des chiens de compagnie adultes et en bonne santé vivant en France.

3.1. Réalisation d'un questionnaire

Le travail préliminaire le plus conséquent de cette étude a été de collecter les données à l'aide d'un questionnaire, rempli par des étudiants vétérinaires de première année de l'année scolaire 2001/2002 à 2010/2011 puis de seconde année pour les années 2012/2013 et 2013/2014. Ce changement est dû à la modification du syllabus de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse en 2011 où l'enseignement concernant l'alimentation des carnivores a été déplacé en seconde année, comme élément du module « élevage des carnivores ».

Le questionnaire, réalisé dans le cadre des travaux dirigés d'alimentation des carnivores, était l'objet d'une évaluation pour l'étudiant. Il se veut par conséquent objectif et le plus complet possible. Un exemplaire du questionnaire est donné en annexe 1.

L'exercice demandait aux étudiants de réaliser le signalement d'un animal de leur entourage et de décrire son alimentation. Pour cela, ils devaient fournir l'étiquette de l'aliment, comprenant la composition analytique et peser à l'aide d'une balance électronique la ration effectivement distribuée à l'animal chaque jour. L'animal étudié devait être à poids constant

depuis au moins un mois. Les données collectées étaient par la suite reportées sur le questionnaire, lui-même remis à l'enseignant lors des séances de travaux dirigés.

Cet enseignement prenant place après les cours magistraux avait pour but d'apprendre aux étudiants à juger de l'état d'embonpoint d'un animal. Par conséquent, les estimations de poids idéal, réalisés par l'étudiant, sont considérées comme pertinentes.

3.2. Saisie de données

3.2.1. Critères de saisie

La saisie des données, réunies dans un tableur, a eu pour but de classer chaque individu selon les critères suivants :

3.2.1.1. Critères administratifs

Les critères suivants ont été considérés afin de contrôler tout biais extrinsèque aux paramètres nutritionnels et biologiques des individus constituant l'échantillon.

- L'année de collecte du questionnaire
- Lien de l'animal avec l'étudiant : appartenant à l'étudiant lui-même, aux parents de l'étudiant, à un autre membre de la famille (famille non parents), à un autre étudiant vétérinaire ou à une tierce personne ne rentrant pas dans les catégories précédemment définies

3.2.1.2. Critères physiologiques

Afin de mettre en évidence le maximum de causes responsables de la variabilité intraspécifique, chaque individu constituant l'échantillon a été qualifié selon les critères suivants :

- Espèce : seuls les animaux appartenant à l'espèce canine ont été pris en compte.
- Race : prise en compte sur des critères parentaux. Un chien pur est considéré comme race1*race1 (issu de deux parents de sa race). Un chien possédant un type racial a été considéré comme race1*non renseigné. Un chien croisé dont les parents étaient de race connue a été quant à lui considéré comme race1*race2. Enfin un chien croisé ne pouvant être rattaché à un type racial donné a été considéré comme non renseigné*non renseigné.

- Age : Seuls les animaux adultes ont été pris en compte. Ont été considérés comme adultes les chiens ayant 12 mois ou plus.
- Sexe et état physiologique.
- Poids actuel.
- Poids idéal : Ce critère devait être rempli en relation au score d'embonpoint établi par l'étudiant remplissant le questionnaire. Lorsque la mention du poids idéal était absente, l'animal a été considéré comme ayant un poids idéal égal à son poids actuel. Lorsque la mention n'était pas chiffrée (e.g. « un peu gras », « embonpoint léger », « maigrichon », etc, le poids idéal a été considéré comme égal au poids actuel plus ou moins 10%).
- Mode de vie : Ont été considérés comme vivant en extérieur tous les animaux passant l'exclusivité de leur temps en extérieur, nuit comprise. Dans le cas contraire, les chiens ont été considérés comme vivant en intérieur.
- Tempérament : calme, normal ou actif.
- Pathologie particulière ou non
- Traitement en cours ou non

3.2.1.3. Critères d'alimentation stricts

Concernant l'alimentation, les critères suivants ont été considérés :

- Marque et nom de l'aliment utilisé
- Lieu d'achat de l'aliment : circuit vétérinaire (incluant la coopérative des étudiants de l'ENVT), grande surface, circuit spécialisé (animalerie), hard discount, autre (internet, démarchage).
- Quantité distribuée (par jour) mesurée à l'aide d'une balance.
- Nombre de distributions par jour (ne prend pas en compte le nombre de fois où l'animal va à la gamelle)

3.2.1.4. Critères d'exclusion

Ont été ôtés de l'étude tous les questionnaires incomplets quant aux facteurs « Quantité distribuée (par jour) », « composition de l'aliment distribué » et/ou « âge », ainsi que les questionnaires dont les réponses n'étaient pas clairement identifiables.

3.2.2. Rations composées d'un unique aliment industriel

L'étudiant remplissant le questionnaire avait pour consigne de joindre, lorsque possible, la partie de l'emballage de l'aliment utilisé mentionnant sa composition analytique. Lorsque cela n'était pas possible, il recopiait la composition analytique sur le questionnaire. La teneur en eau n'étant pas une mention obligatoire pour le fabricant, elle a été considérée comme égale à 10% dans les cas où elle n'était pas communiquée.

3.2.3. Rations mixtes : rations ménagères ou composées de plusieurs aliments

Les animaux ayant une alimentation composée d'au moins deux aliments distincts (industriels ou non) ont été considérés, pour des raisons de praticité, comme consommant un aliment unique dont la composition a été calculée comme la moyenne pondérée des composants des aliments constituant la ration.

Les constituants analytiques des différents aliments utilisés ont été obtenus d'après *Food composition and nutrition tables* de Souci et Falchmann (Souci et Fachmann, 2008) à l'exception des compositions des steaks hachés et de la macédoine de légumes appertisée, obtenues d'après la table Ciqual 2013 de l'Anses (ressource web ANSES).

Quelle que soit la source consultée, les teneurs en protéines brutes ont été obtenues sur la base de l'azote total, obtenu par Kjeldahl, multiplié par les facteurs suivants : lait et produit laitiers 6,38, céréales et dérivés 5,8, oléagineux et fruits à coques 5,3, autres (viandes, poissons, légumes...) 6,25 (Souci et Fachmann, 2008 ; ressource web ANSES).

3.3. Description de l'échantillon

Décrire l'échantillon sur des critères de quantité et de position a été un travail préliminaire essentiel aux choix de méthodes. Par conséquent, les résultats de cette description ont été présentés dans un premier temps, alors que les choix concernant les méthodes statistiques n'ont été exposés qu'après.

L'échantillon se compose d'un total de n=562 individus de plus de un an, de signalement et d'alimentation connue. Les graphiques permettant de décrire l'échantillon sont présentés dans les figures 4 à 17.

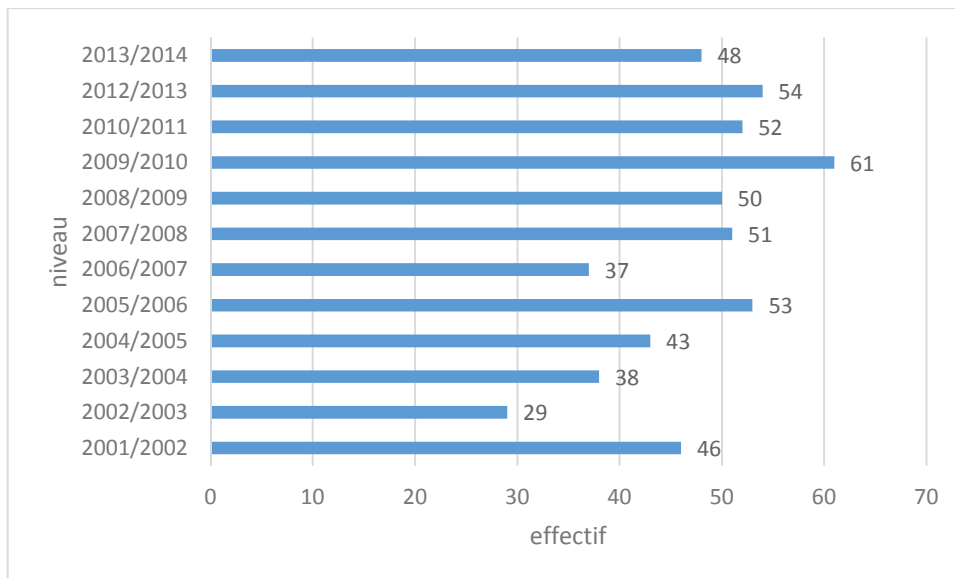


Figure 4 : Description de l'échantillon en fonction de l'année de saisie du questionnaire ($n_{tot}=562$)

La figure 4 montre une forte variation de quantité de questionnaires recueillis pour cette étude en fonction de l'année. Cela traduit la variabilité de la proportion chiens/chats, les étudiants ayant eu pour cet exercice le choix de décrire l'alimentation d'un chien ou d'un chat de leur entourage.

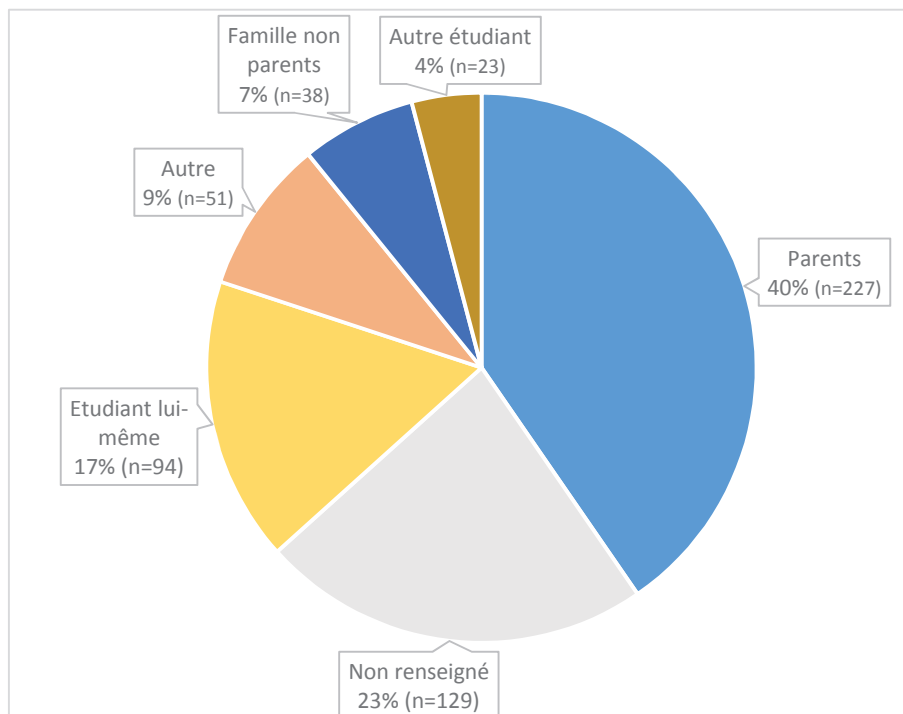


Figure 5 : Description de l'échantillon en fonction du lien de l'animal avec l'étudiant ayant saisi le questionnaire ($n_{tot}=562$)

Comme le montre la figure 5, la plupart des chiens inclus à l'étude appartenaient aux familles des étudiants, que ce soit aux parents (n=227, 40%) ou à des cercles familiaux plus éloignés (n=38, 7%). Cela a permis la constitution d'un échantillon dont les individus proviennent de multiples zones géographiques. Les chiens possédés par des étudiants représentaient quant à eux 117 individus, soit 21% de la population étudiée, dont 94 individus appartenant à l'étudiant ayant rempli le questionnaire. 9% des propriétaires ne rentraient dans aucune des catégories précédemment citées. Pour 129 questionnaires, soit près d'un quart des cas, le propriétaire de l'animal n'était pas clairement identifié.

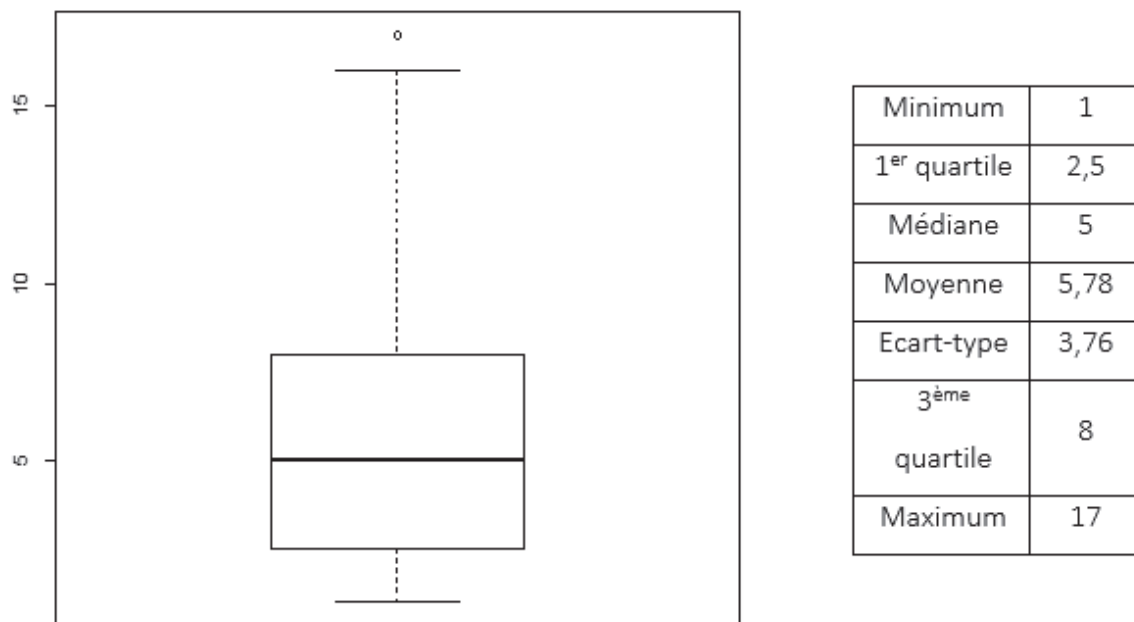


Figure 6 : Description de l'échantillon en fonction de l'âge (an) ($n_{tot}=562$)

Les chiens considérés dans cette étude étaient âgés d'en moyenne $5,8 \pm 3,8$ ans avec des valeurs extrêmes comprises entre 1 et 17 ans (figure 6). Cet âge moyen n'est pas généralisable à plus large échelle car seuls les chiens adultes étaient considérés.

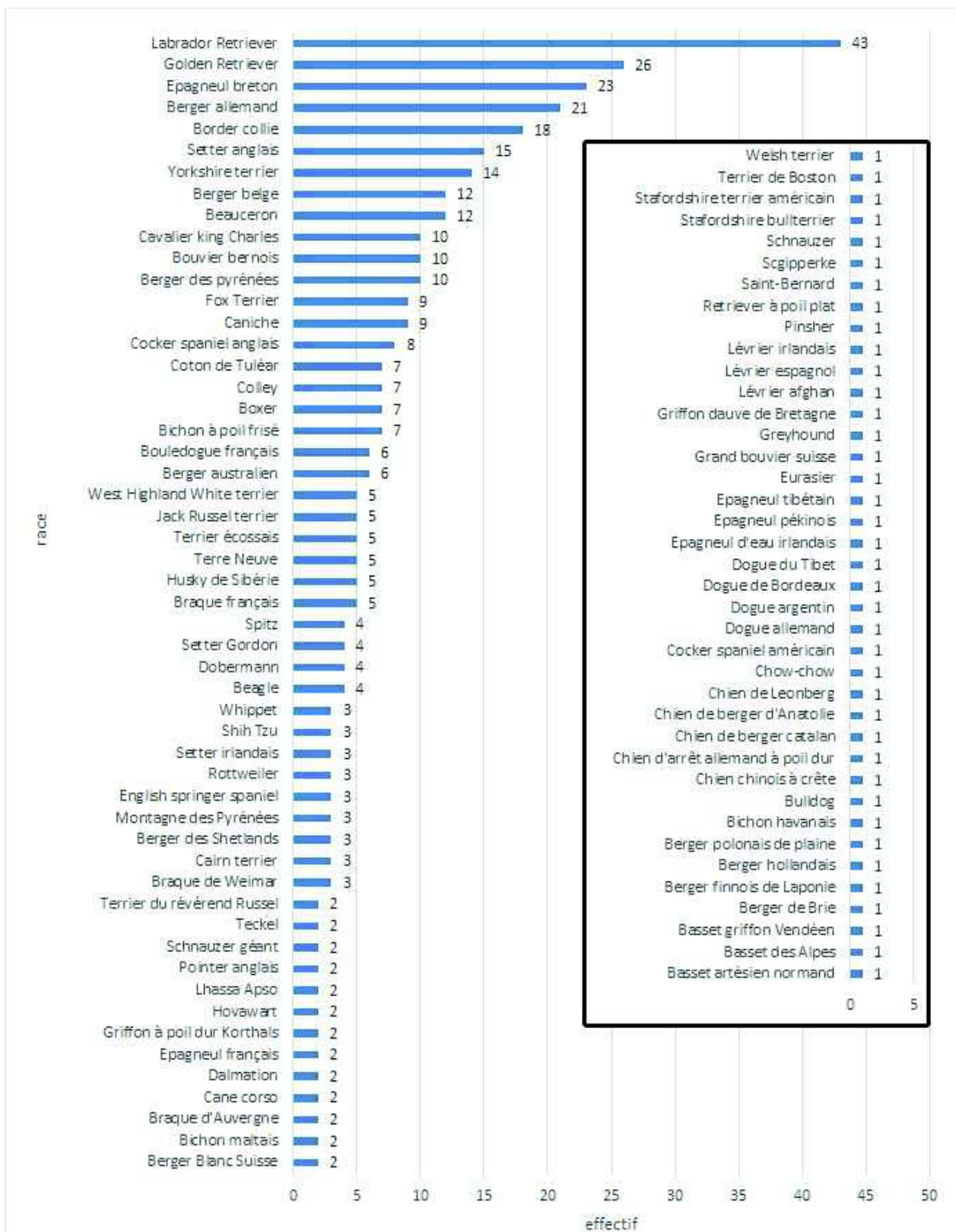


Figure 7 : Description de l'échantillon en fonction de la race, chiens de race uniquement (n=418). Sont considérés comme appartenant à une race les chiens dont le type racial est clairement identifié (par exemple un « croisé Labrador » a été considéré comme un Labrador).

En 2014, d'après l'enquête FACCO/TNS SOFRES les trois chiens les plus populaires en

France étaient le Labrador retriever, le Yorkshire terrier et le Jack Russel, représentant respectivement 7,8, 6,8 et 4,2% des chiens familiaux. Dans l'échantillon ici étudié (voir figure 7), des chiffres similaires ont été observés pour le Labrador, représentant 7,7% des questionnaires, mais venaient ensuite le Golden retriever (4,6%), l'Épagneul breton (4,1%), le Berger allemand (3,7%), le Border collie (3,2%), le Setter anglais (2,7%) et enfin le Yorkshire qui ne représentait que 2,6% des questionnaires. Le Jack Russel n'était quand à lui présent qu'au 22^{ème} rang, ne représentant que 0,9% des individus constituant l'échantillon. Ces différences entre les études pourraient s'expliquer par la durée de l'échantillonnage ici considéré. En effet les questionnaires ont été recueillis sur une durée de 12 ans, période durant laquelle les proportions des différentes races de chiens ont été vraisemblablement soumises à de nombreuses variations.

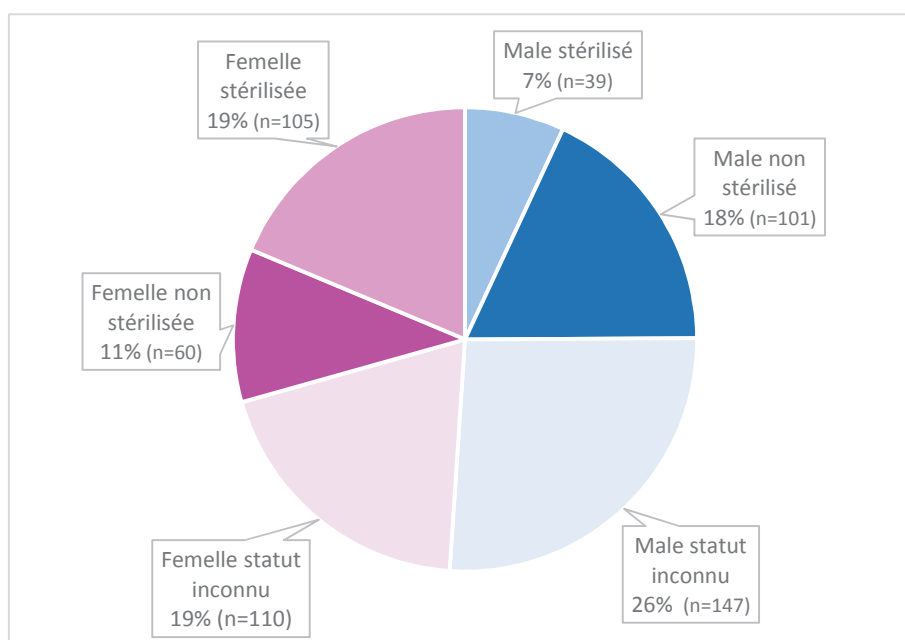
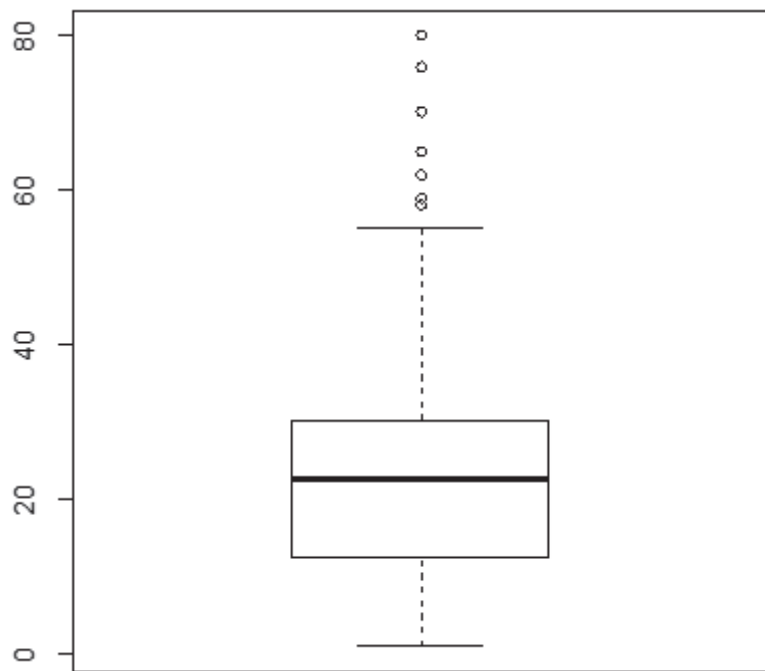


Figure 8 : Description de l'échantillon en fonction du sexe et du statut physiologique ($n_{tot}=562$)

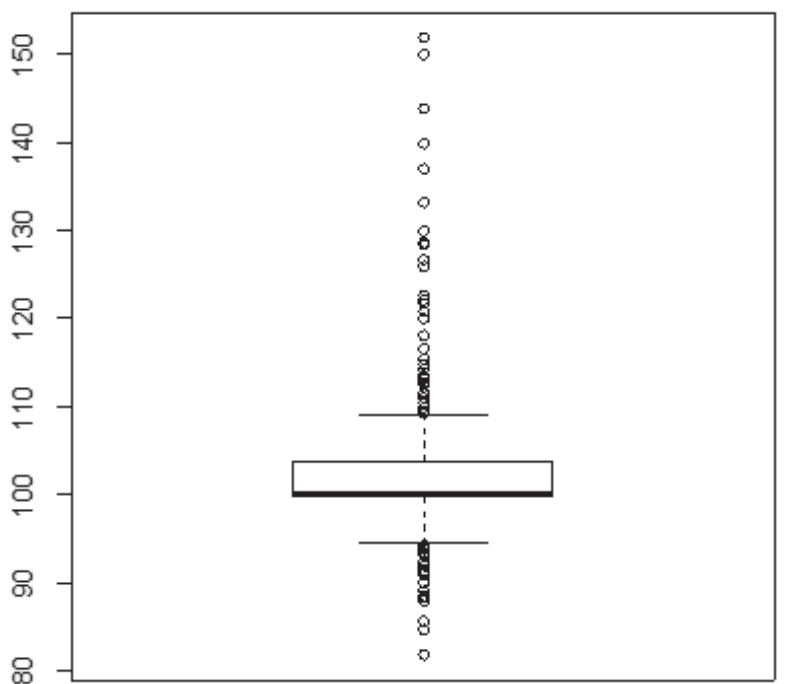
L'échantillon ici étudié s'est avéré présenter une parité quasi idéale (voir figure 8). Le sex ratio était en effet de 1,04 avec une représentation légèrement plus importante pour les mâles. Une différence mérite cependant d'être notée : la proportion de mâles stérilisés était nettement inférieure à celle des femelles. En effet si l'on ne s'intéresse qu'aux effectifs dont le statut stérilisé ou non était clairement identifié, 64% des femelles étaient stérilisées, contre 28% des mâles. Cependant cette proportion pourrait être à moduler par la proportion importante (46%) d'individus pour lesquels le statut stérilisé ou non n'était pas clairement identifié.



Minimum	1,1
1 ^{er} quartile	12,62
Médiane	22,5
Moyenne	22,77
Ecart-type	13,03
3 ^{ème} quartile	30,0
Maximum	80,0

Figure 9 : Description de l'échantillon en fonction du poids idéal (kg)

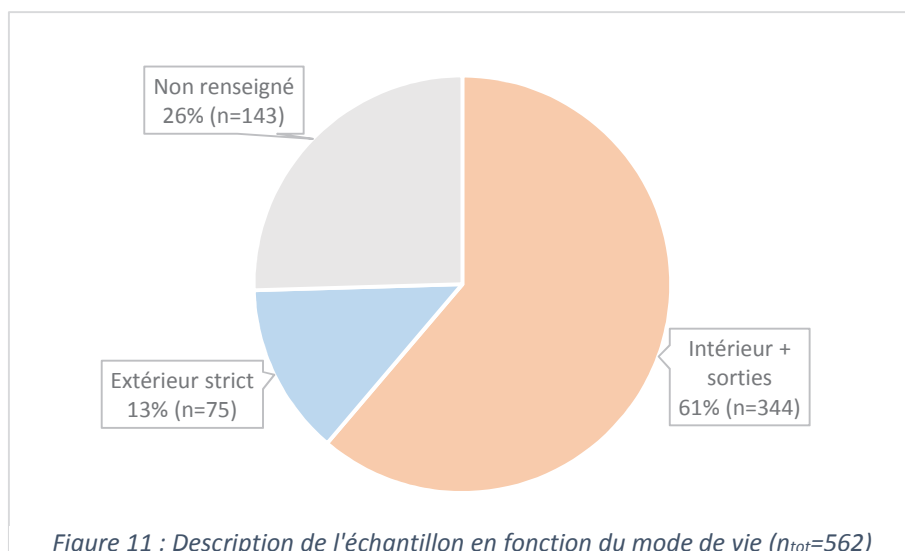
Les chiens constituant l'échantillon présentaient des poids idéaux variant de 1,1 à 80kg, pour une moyenne de 22,77kg (voir figure 9). Ce large éventail de poids, variant du simple au septantuple, est représentatif de l'espèce canine.



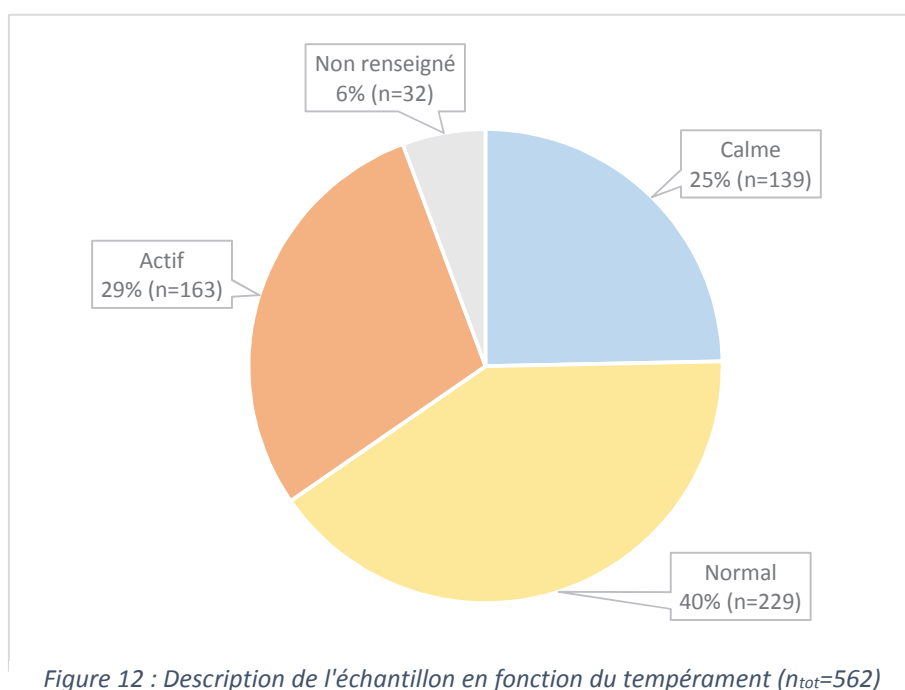
Minimum	81,82
1 ^{er} quartile	100
Médiane	100
Moyenne	102,8
Ecart-type	8,2
3 ^{ème} quartile	104,5
Maximum	152

Figure 10 : Description de l'échantillon en fonction du rapport $\frac{\text{Poids}_{\text{actuel}}}{\text{Poids}_{\text{idéal}}}$ (%)

Le calcul du rapport $\frac{\text{Poids}_{\text{actuel}}}{\text{Poids}_{\text{idéal}}}$ permet d'estimer l'excès ou le déficit pondéral de chaque animal. La description de ce rapport pour l'échantillon ici étudié est présenté en figure 10. Ce rapport est inférieur à 1 pour un chien en déficit pondéral, et inversement en cas de surpoids. Dans l'échantillon étudié, n=53 soit 9,43% des chiens étaient en déficit pondéral et n=166 soit 29,5% en surpoids.



Le questionnaire ne prenait pas en compte le temps total passé en extérieur, et ne différençait que les individus passant systématiquement la nuit en extérieur de ceux qui dormaient dans le logement de leur propriétaire. La majorité des chiens de l'échantillon passaient la nuit à l'intérieur et étaient sortis occasionnellement (n=344, 61%). Cependant une proportion notable de chiens (n=75, 13%) dormait à l'extérieur. Pour 143 questionnaires, soit 26%, l'information n'était pas clairement identifiée (voir figure 11).



Le tempérament était soumis à une évaluation subjective de la part du propriétaire et/ou de l'étudiant. Chaque chien a ainsi été catégorisé comme « calme », « normal » ou « actif ». Comme attendu la majorité des chiens de l'échantillon avaient un tempérament qualifié de « normal » (n=229 soit 40%, voir figure 12). Venaient ensuite les chiens de tempérament « actif », puis « calme », représentant respectivement n=163, soit 29% et n=139, soit 25% des individus.

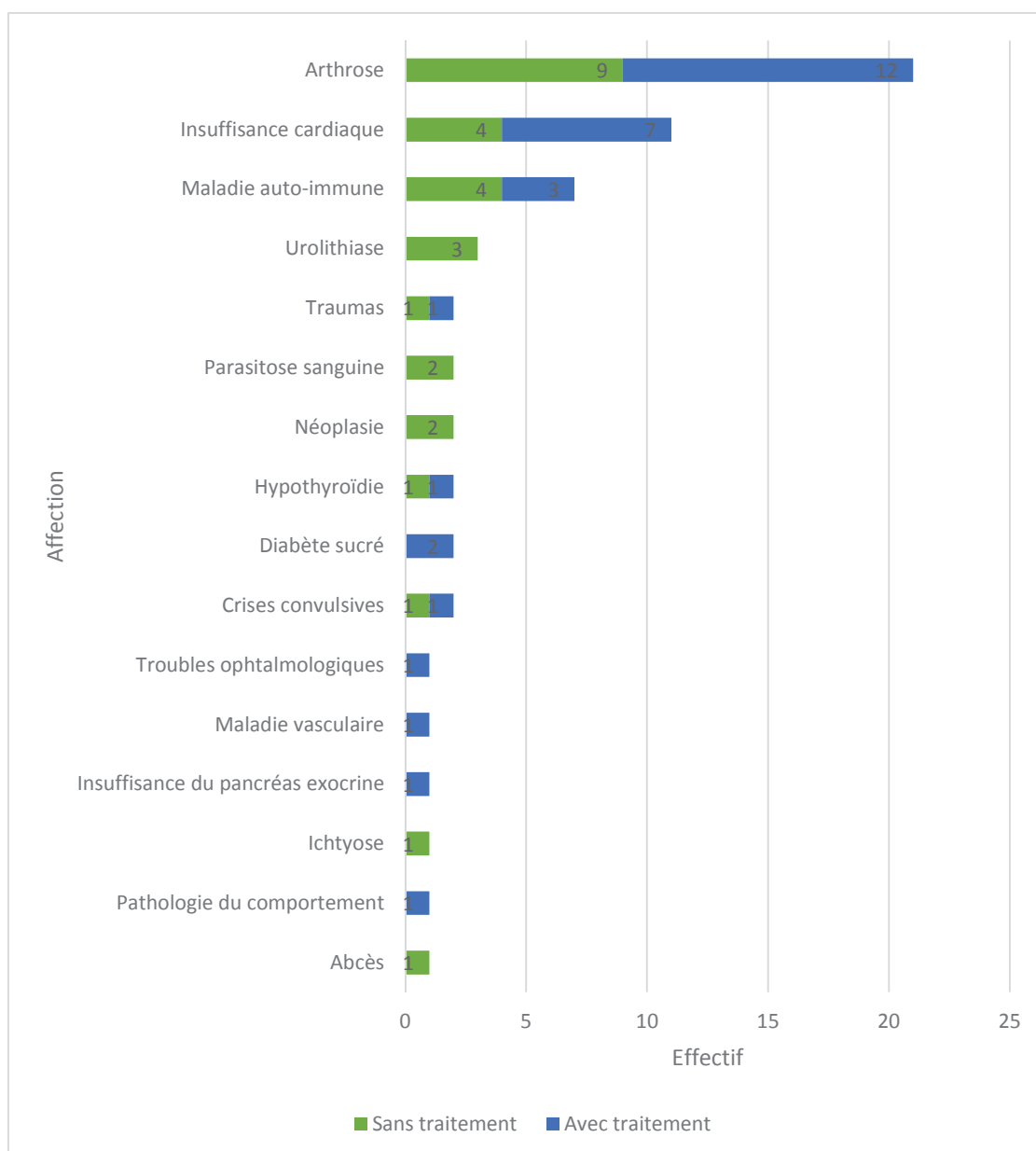


Figure 13 : Description du sous ensemble d'échantillon présentant une pathologie (n=60)

Comme le montre la figure 13, des maladies ont été rapportées pour n=60 individus, ceci représentant 10,7% des animaux de l'étude. Les diagnostics les plus fréquents concernaient les affections orthopédiques dégénératives (arthrose et dysplasie), rencontrées

chez 3,74% des chiens, les cardiopathies, rencontrées chez 1,96% des chiens et les maladies à médiation immune (atopie essentiellement), rencontrées chez 1,2% des individus. Aucun individu de l'échantillon n'a été rapporté comme ayant plusieurs affections concomitantes au moment de l'étude.

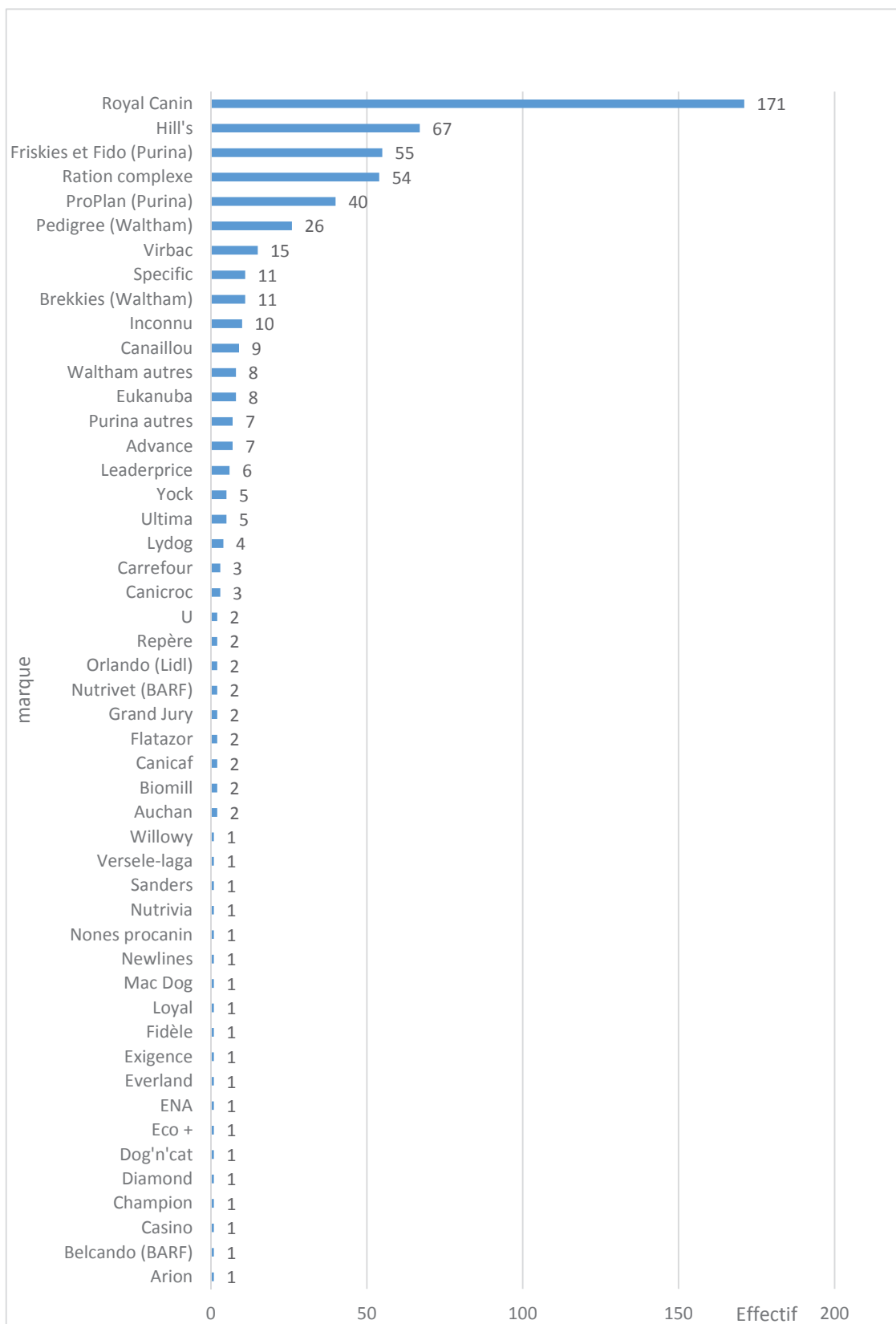


Figure 14 : Description de l'échantillon en fonction de la marque d'aliment utilisée ($n_{tot}=562$)

Concernant les marques d'aliments utilisées, pas moins de 49 marques différentes ont été dénombrées (voir figure 14). Les trois marques d'aliment industriel les plus souvent utilisés étaient Royal Canin (30,4% des cas), Purina (18,1% des cas) et Hill's (11,9% des cas). Ces proportions importantes d'aliments de marques réputées de qualité vétérinaire étant très certainement biaisée par le mode d'échantillonnage de l'étude, ayant fait appel aux animaux de l'entourage d'étudiants vétérinaires.

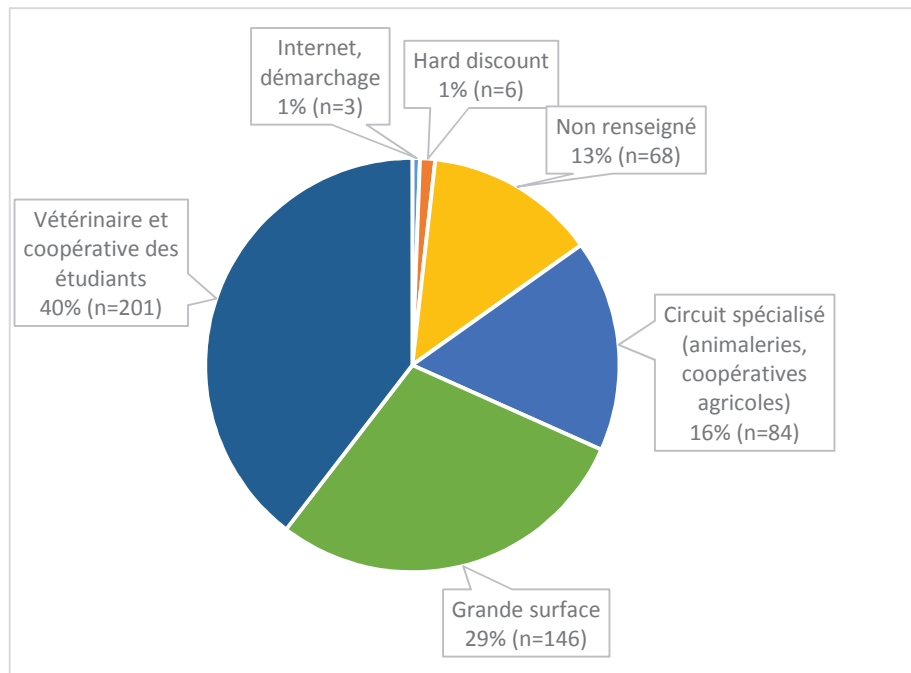


Figure 15 : Description du sous échantillon ayant une alimentation non composée en fonction du lieu d'achat de l'aliment ($n_{tot}=508$)

En effet si l'on s'intéresse au lieu d'achat des aliments industriels, la majorité revient aux circuits vétérinaires (vente au comptoir ou amicale des étudiants confondus), représentant $n=201$ soit 35,7% des questionnaires. Viennent ensuite les achats en grande surface ($n=146$ soit 26,0%) puis en circuit spécialisé non vétérinaire ($n=84$ soit 14,9%). A nouveau le mode d'échantillonnage de l'étude ne permet vraisemblablement pas d'extrapoler raisonnablement ces résultats à une échelle plus large.

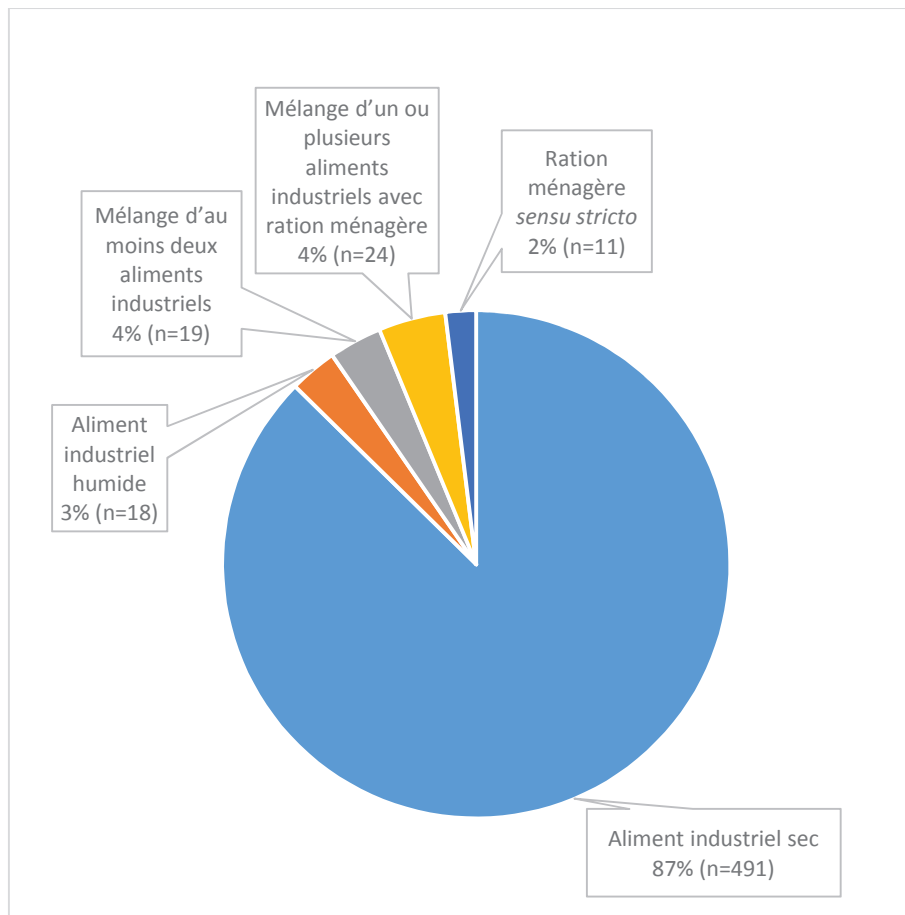


Figure 16 : Description de l'échantillon en fonction du type d'alimentation utilisée ($n_{tot}=562$)

La majorité des chiens (87,4%, $n=491$) de l'échantillon étaient nourris avec une alimentation industrielle sèche (voir figure 16). Ceci s'explique aisément par le prix et la praticité de ce type d'alimentation. Les alimentations de type industriel humide exclusif représentaient quant à elles seulement $n=18$ individus soit 3,20% de l'échantillon. Les rations complexes constituaient l'alimentation de 9,61% des chiens, et consistaient le plus souvent en un mélange d'aliments industriels et de denrées alimentaires ou en un mélange de plusieurs aliments industriels. Le type d'alimentation le moins utilisé dans l'échantillon était la ration ménagère, utilisée chez seulement 1,96% des individus.

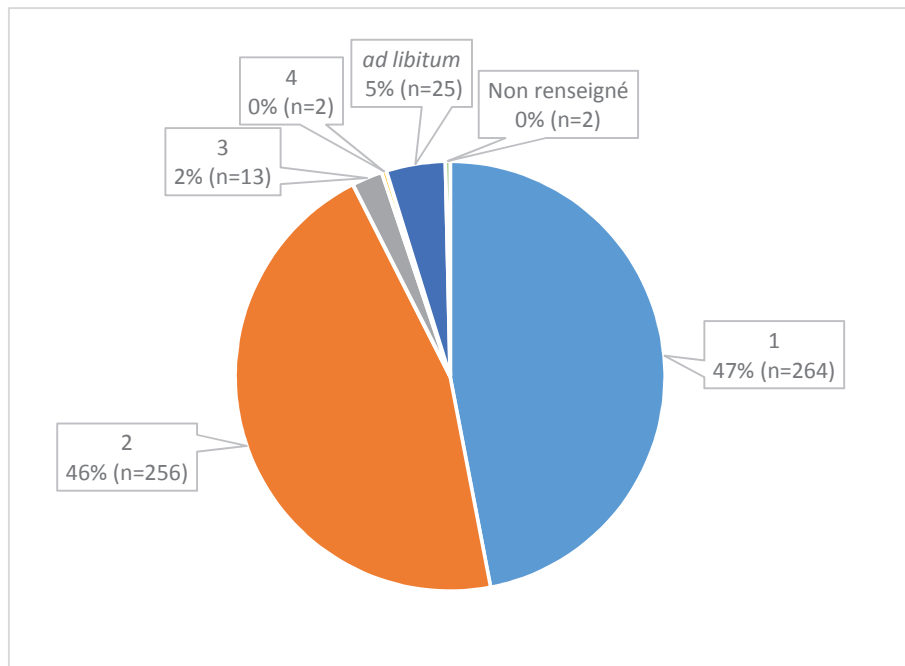


Figure 17 : Description de l'échantillon en fonction du nombre de repas distribués par jour ($n_{tot}=562$)

Enfin, concernant le schéma alimentaire quotidien, 92,5% des individus étaient nourris en une ou deux prises alimentaires par jour. Les 7,5% restant correspondaient essentiellement aux chiens pour lesquels la nourriture était laissée à volonté durant la journée ($n=25$ soit 4,44%) et à ceux nourris en trois repas quotidiens ($n=13$ soit 2,31%). De façon plus anecdotique, certains chiens étaient nourris en quatre repas par jour ($n=2$ soit 0,36%).

4. Analyse statistique

Cette étude admet deux objectifs distincts. Tout d'abord l'échantillon a été analysé afin de proposer une équation allométrique estimant les besoins énergétiques d'entretien des chiens de compagnie français. Dans un second temps les facteurs de risques liés à l'obésité chez ces chiens ont été décrits.

4.1. Outils statistiques

Tous les graphiques et les calculs présentés dans ce manuscrit ont été réalisés à l'aide des logiciels suivant :

- Microsoft® Office Proofing Tools © 2012 Microsoft Corporation.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- Fox, J. (2005). The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. Journal of Statistical Software, 14(9): 1--42.
- Minato Nakazawa (2015). fmsb: Functions for Medical Statistics Book with some Demographic Data. R package version 0.5.2. <http://CRAN.R-project.org/package=fmsb>

4.2. Mise en place d'une équation allométrique

4.2.1. Travail préliminaire

4.2.1.1. Restriction de l'échantillon

4.2.1.1.1. Facteurs poids actuel et poids idéal

Cette partie de l'étude ne s'intéresse qu'aux animaux supposés à leur poids idéal et à l'équilibre énergétique. Par conséquent ne sont conservés que les animaux dont le poids actuel est le poids idéal (c'est-à-dire les animaux dont le rapport poids actuel sur poids idéal vaut 1)

L'effectif est ainsi réduit de n=562 à n=343.

4.2.1.1.2. Facteur maladie intercurrente

Les animaux pour lesquels une affection avait été décrite, que cette dernière ait fait l'objet d'un traitement ou non, ont été exclus de cette étude.

L'effectif a ainsi été réduit de n=343 à n=319 individus.

4.2.1.2. Détermination du poids métabolique : régression linéaire

Reconsidérons l'équation précédemment énoncée :

$$BEE = \alpha \cdot P^\beta \cdot age^\gamma$$

$$\stackrel{>0}{\Leftrightarrow} \ln(BEE) = \ln(\alpha \cdot P^\beta \cdot age^\gamma)$$

$$\Leftrightarrow \ln(BEE) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P) + \gamma \cdot \ln(age)$$

Dans cette équation, $\ln(BEE)$ est une fonction affine de $\ln(P)$ et $\ln(\text{âge})$. Il est par conséquent possible de réaliser une régression linéaire, en considérant $\ln(BEE)$ en fonction de $\ln(P)$ et $\ln(\text{âge})$. Les animaux de l'échantillon étant supposés à leur poids de forme et à l'équilibre énergétique, on peut estimer les exposants β et γ . L'exposant β définit le poids métabolique.

Le résultat de cette régression linéaire est détaillé dans le tableau 5.

Tableau 5 : Résultats obtenus à partir de la régression linéaire sur $\ln(BEE) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P) + \gamma \cdot \ln(age)$.
D'après R version 3.2.2 (2015-08-14)

```

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.02367 -0.14821  0.01294  0.15210  1.11462

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.85298     0.06498  74.689 < 2e-16 ***
lnage       -0.04968     0.01905  -2.608  0.00953 **
lnpds       0.72980     0.01952  37.385 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2542 on 316 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8173, Adjusted R-squared:  0.8161
F-statistic: 706.8 on 2 and 316 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

On obtient ainsi l'équation suivante :

$$\ln(BEE) = 4,85298 + 0,72980 \cdot \ln(P) - 0,04968 \cdot \ln(age)$$

$$\Leftrightarrow BEE = 128,1 \cdot P^{0,7298} \cdot age^{-0,04968}$$

Où P représente le poids exprimé en kilogrammes et age, l'âge exprimé en années ($r^2=0,8161$).

Un autre modèle, plus simple, consiste à ne pas considérer l'effet de l'âge dans l'équation allométrique visant à calculer les besoins énergétiques d'entretien. L'équation précédemment énoncée devient alors :

$$BEE = \alpha \cdot P^\beta$$

$$\Leftrightarrow \ln(BEE) = \ln(\alpha \cdot P^\beta)$$

$$\Leftrightarrow \ln(BEE) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P)$$

Les résultats de la régression linéaire associée à cette équation sont exposés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats obtenus à partir de la régression linéaire sur $\ln(BEE) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P)$. D'après R version 3.2.2 (2015-08-14)

```

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.98645 -0.13859  0.01536  0.15533  1.04471

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.78150    0.05945   80.43  <2e-16 ***
lnpds        0.73167    0.01969   37.17  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2565 on 317 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8134, Adjusted R-squared:  0.8128
F-statistic: 1381 on 1 and 317 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

On obtient ainsi le modèle suivant :

$$\ln(BEE) = 4,7815 + 0,73167 \cdot \ln(P)$$

$$\Leftrightarrow BEE = 119,3 \cdot P^{0,73167}$$

Où P représente le poids exprimé en kilogrammes ($r^2=0,8128$).

4.2.1.3. Définition de la variable réponse

La suite du manuscrit se base sur le modèle selon lequel le besoin énergétique d'entretien dépend du poids et de l'âge, comme définit par l'équation :

$$BEE = \prod_i k_i \cdot \mu \cdot P^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}$$

Où k_i , représente le facteur de correction associé à l'effet individuel du facteur i sur les besoins énergétiques d'entretien (sans unité) ; μ , le coefficient moyen permettant le calcul des besoins énergétiques d'entretien chez les animaux n'étant pas soumis aux effets des k_i (en $\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-0,725} \cdot \text{an}^{0,044} \cdot \text{jour}^{-1}$) ; P, le poids idéal de l'animal (en kg) et A son âge (en années).

Cette équation peut ainsi s'écrire sous la forme :

$$BEE = \prod_i k_i \cdot P^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}$$

$$\xLeftrightarrow{P \neq 0, \text{ age} \neq 0} \frac{BEE}{P^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}} = \prod_i k_i$$

On définit la variable réponse pour la suite de cette étude comme $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot age^{-0,04968}}$.

4.2.1.4. Modification des facteurs

Les facteurs ayant trop de niveaux distincts, pouvant par conséquent empêcher la réalisation des tests statistiques car l'effectif par niveau est trop faible, ont été soit éliminés du modèle, soit les niveaux ont été regroupés afin d'augmenter l'effectif par niveau et ainsi pouvoir réaliser les tests nécessaires à l'étude.

Par ailleurs, les facteurs quantitatifs ont été transformés en facteurs qualitatifs afin de pouvoir réaliser une étude de variance.

4.2.1.4.1. Marque de l'aliment et lieu d'achat

Le facteur marque de l'aliment utilisé, contenant initialement 48 niveaux, dont 18 ne comprenant qu'un unique individu (voir figure 14) n'a pas été pris en compte dans l'étude. En effet la répartition inhomogène des individus dans les différents niveaux rend la prise en compte de ce facteur impossible. Afin de pouvoir considérer la qualité des aliments, le facteur gamme de l'aliment est ici introduit.

Ce facteur a été défini par rapport à la marque de l'aliment. Tous les aliments de marque distributeur (Casino, Champion, Eco +, Auchan, Grand Jury, Orlando, Repère, U, Carrefour, Lydog et Leaderprice) ont été par défaut considérés comme des aliments « bas de gamme », ainsi que tous les aliments dont le prix au kilo était inférieur à 3€ le kilo. Pour cette étude, les aliments dont le prix était supérieur à 3€ le kilo définissent les aliments « haut de gamme ».

Le prix des aliments a été relevé sur la base du prix moyen au kilo des aliments de la marque concernée pour les croquettes pour chien adulte sain de moyenne ou de grande race en grand conditionnement (≥ 12 kg). Les prix ont été constatés sur internet lors de la rédaction de cette étude. Un troisième groupe comprend les chiens nourris avec des rations ménagères ou composées de plusieurs aliments industriels. Enfin, un quatrième groupe comprend les individus nourris avec un aliment dont la marque n'était pas clairement identifiée sur le

questionnaire et ceux nourris avec un aliment de type BARF⁷, La figure 18 résume la description de l'échantillon vis-à-vis du facteur gamme de l'aliment.

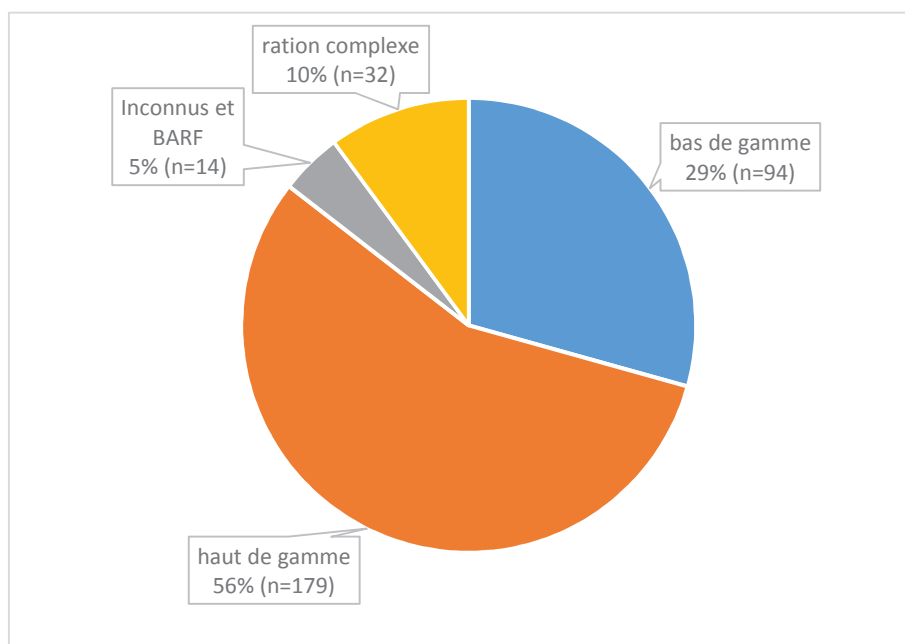


Figure 18 : Description de l'échantillon en fonction de la gamme d'aliment utilisée (n_{tot}=319)

Par ailleurs, le facteur « lieu d'achat » a été abandonné car considéré comme redondant et moins précis que le facteur « gamme de l'aliment » qui vient d'être défini.

4.2.1.4.2. Race

La répartition par race dans le sous échantillon des chiens sains à l'équilibre énergétique est exposée en figure 19. Sont considérés comme appartenant à une race les chiens dont le type racial est identifié sans information sur les parents (par exemple un « croisé Berger allemand » a été considéré comme un Berger allemand).

⁷ BARF signifie en anglais « biologically appropriate raw food » et consiste en la distribution d'aliments composés de viande crue et/ou sans céréales. Ce type d'alimentation, discutable sur le plan nutritionnel, est également très onéreux.

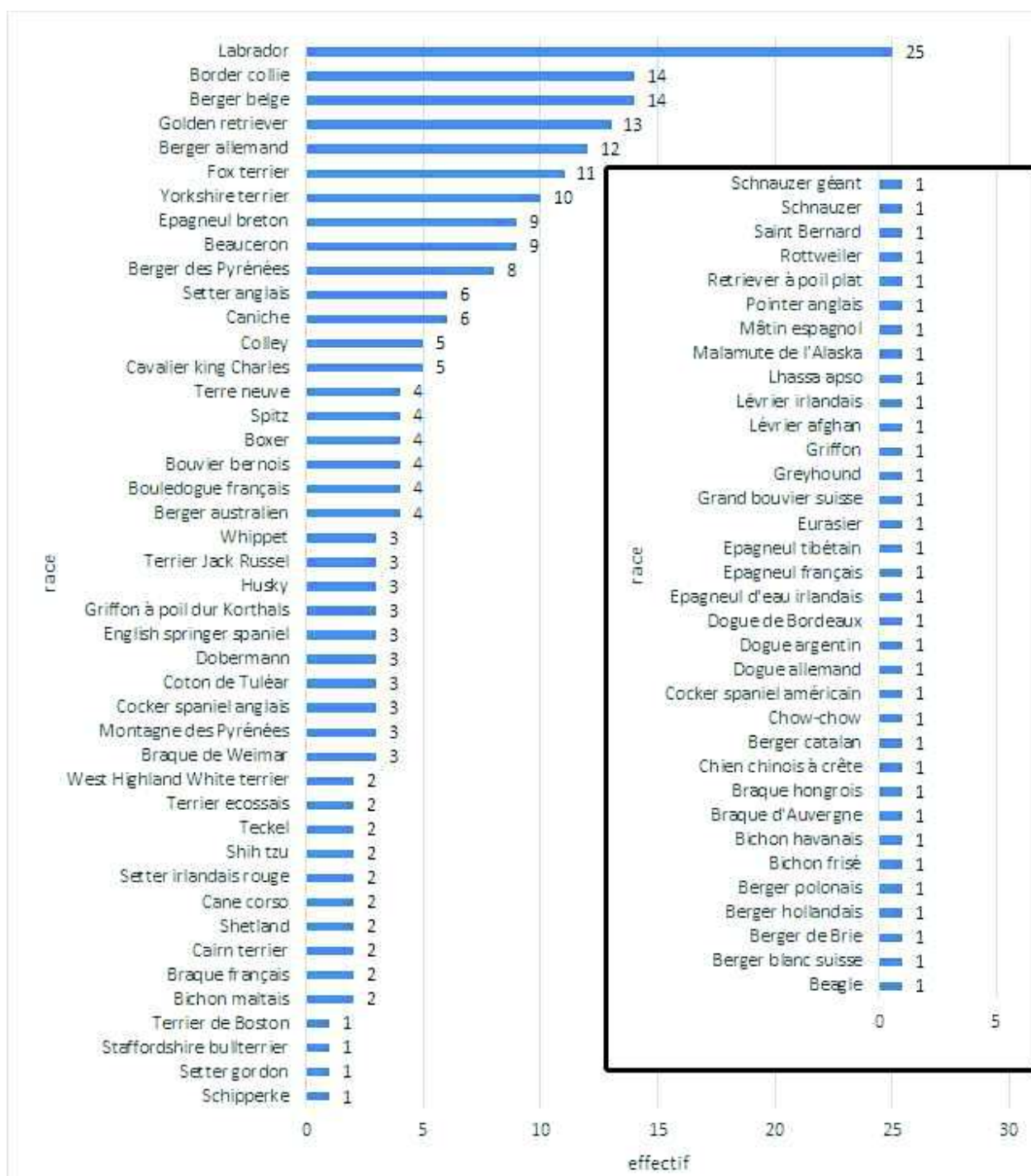


Figure 19 : Description du sous-échantillon en fonction de la race. Les chiens appartenant à un type racial y sont comptés comme appartenant à la race (n=259).

Le facteur race présente ici 78 niveaux. Dans le but de créer des groupes homogènes, il a semblé logique dans un premier temps de considérer les chiens par groupes cynotechniques. Cela reviendrait à regrouper les chiens partageant un type morphologique et ayant une parenté proche. Cependant, cela implique l'hypothèse que tous les chiens ayant un même morphotype, ou étant proches d'un point de vue phylogénétique, ont des besoins alimentaires similaires. Or,

comme le montre la figure 20, cette hypothèse n'est pas réaliste. On constate ainsi que des chiens ayant des morphotypes très proches ont des besoins qui apparaissent différents. Cela n'est visible que parce que les effectifs pour ces races sont suffisants pour obtenir des facteurs fiables de répartition.

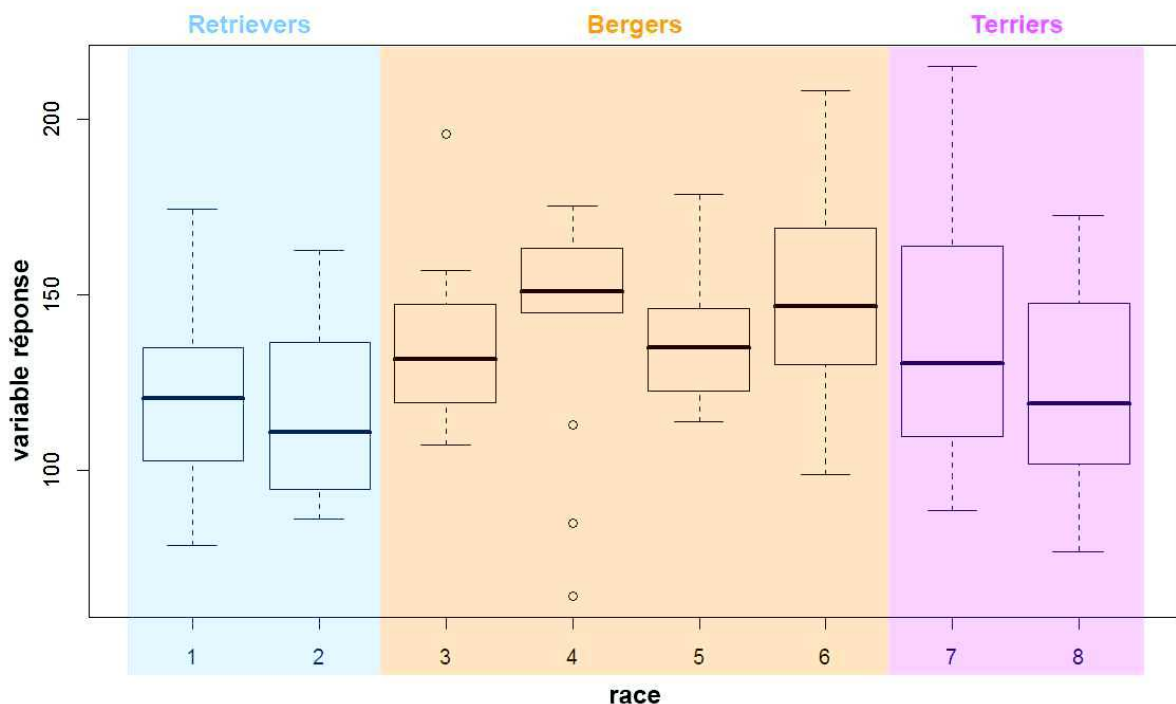


Figure 20 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298,4}-0,04968}$) en fonction de la race. 1=labrador (n=25), 2=golden retriever (n=13), 3= border collie (n=14), 4=berger belge (n=14), 5=berger allemand (n=12), 6=beauceron (n=9), 7=fox terrier (n=11), 8=yorkshire terrier (n=10).

Ainsi, il apparaît que s'il semble raisonnable de considérer les Labradors et les Golden retrievers dans le même groupe « retrievers », ce n'est pas le cas des bergers ou encore des terriers. En effet les border collies semblent avoir des besoins similaires aux bergers allemands mais ces besoins diffèrent de ceux des bergers belges et des beaucerons. Il en va de même pour les Yorkshire terriers et les Fox terriers qui ne peuvent être regroupés raisonnablement dans un seul groupe « terriers ».

Le problème se pose alors pour les races ayant un effectif faible, pour lesquelles la répartition dans cette étude n'est pas généralisable à l'ensemble des animaux de la même race. Ces races ne peuvent donc être regroupées avec d'autres, ni sur critères zootechniques, ni sur critères alimentaires. Prenons l'exemple des terriers : fox terrier, terrier écossais, cairn terrier et yorkshire terrier. Toutes ces races sont liées phylogénétiquement à des degrés variables

difficiles à quantifier. On a vu précédemment qu'il faudrait vraisemblablement considérer le Yorkshire indépendamment du Fox terrier. Or, si l'on observe la répartition du besoin énergétique d'entretien de ces quelques terriers (voir figure 21), un problème se pose pour les races peu représentées.

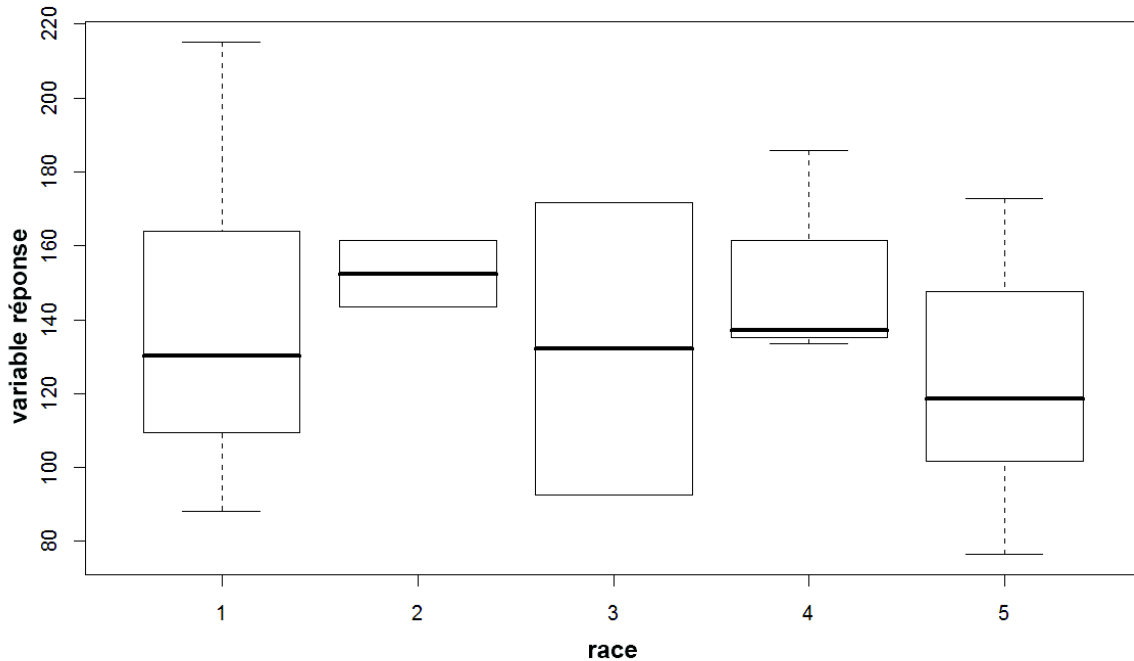


Figure 21 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298} \cdot A - 0,04968}$) en fonction de la race. 1=fox terrier (n=11), 2=terrier écossais (n=2), 3=cairn terrier (n=2), 4=terrier jack Russel (n=3), 5=yorkshire terrier (n=10).

Dans quel groupe placer le cairn terrier ? Le terrier écossais ? Le jack Russel ? A ce stade, les regroupements ne pourraient se faire que de manière purement empirique et risqueraient de biaiser les résultats. Si l'on s'intéressait seulement aux médianes des groupes, on aurait tendance à placer le terrier écossais ainsi que le jack Russel dans le groupe des fox terriers. Or, un tel rassemblement emmènerait le groupe à se dissocier un peu plus de celui des Yorkshire terriers et on pourrait alors conclure à tort sur une différence entre le groupe « fox, jack Russel et scottish terrier » et le groupe « yorkshire terrier » suite à ce placement arbitraire.

Par conséquent, dans la suite de cette étude, les races ne seront considérées individuellement que lorsque leur effectif le permettra ($n \geq 8$). Aucune conclusion ne peut donc être apportée raisonnablement pour les races peu représentées.

4.2.1.4.3. Facteurs non modifiés

Les facteurs « lien animal/étudiant » (6 niveaux), « sexe/statut physio » (6 niveaux), « mode de vie » (3 niveaux), « tempérament » (4 niveaux) et « type d'alimentation » (5 niveaux) restent inchangés.

4.2.1.4.4. Bilan : facteurs finaux

L'ensemble des facteurs ayant été étudiés dans ce manuscrit sont répertoriés dans le tableau 7, qu'ils aient été ou non soumis à des modifications.

Tableau 7 : Récapitulatif des facteurs retenus pour l'étude et du nombre de niveaux qui les composent.

Facteur	Nombre de niveaux
Lien animal-étudiant	6
Race	11
Statut sexuel	6
Mode de vie	3
Tempérament	4
Type d'aliment	5
Gamme de l'aliment	4

4.2.2. Détermination des k_i

4.2.2.1. Méthode statistique

Les variances des différents groupes ne pouvant être considérées comme homogènes (tests de Bartlett <0.05 , résultats en annexe 2), l'analyse statistique a été réalisée au moyen de tests non paramétriques. Pour chaque facteur, la méthodologie a été la suivante :

- (1) un test de Kruskal-Wallis⁸ a été réalisé,
- (2) Dans le cas où $P < 0,05$ H_0 était rejetée et la conclusion était qu'il y existe une différence significative entre au moins deux niveaux du facteur considéré. Dans ce cas, des tests bivariés de Wilcoxon⁹ étaient réalisés dans un second temps.

⁸ Test non paramétrique pour lequel $H_0 =$ « la distribution de la variable réponse est la même pour tous les niveaux du facteur »

⁹ Test non paramétrique pour lequel $H_0 =$ « la différence moyenne entre les deux groupes est nulle »

(3) La correction de Bonferroni a par la suite été appliquée en fonction du nombre de niveaux considérés pour le facteur, et donc du nombre de comparaisons réalisées. Les seuils de significativité sont indiqués dans le tableau 8.

Tableau 8 : Seuil de significativité en fonction du nombre de comparaison (correction de Bonferroni)

Nombre de comparaisons	Seuil de significativité (Bonferroni)
1	0,05
2	0,025
3	0,0167
4	0,0125
5	0,01
k	$\frac{0,05}{k}$

4.2.2.2. Lien entre l'animal et l'étudiant

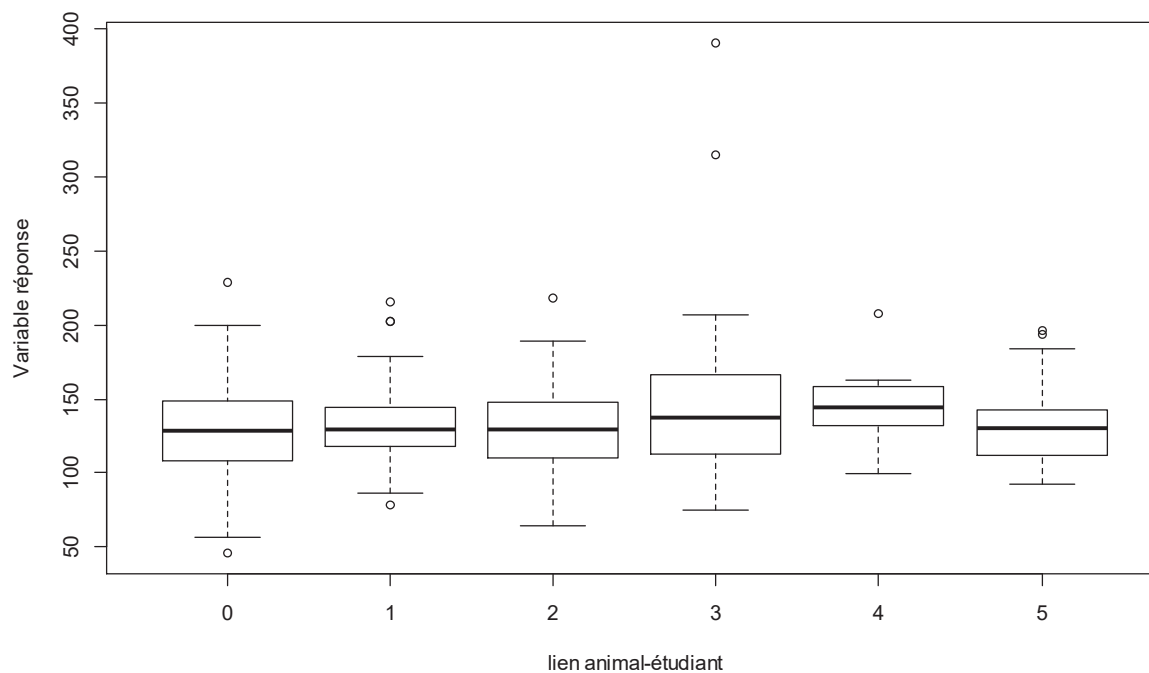


Figure 22 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298, A^{-0,04968}}}$) en fonction du lien animal-étudiant. 0=Non renseigné. 1=étudiant lui-même. 2=parents. 3=famille non parents. 4=autre étudiant. 5=autre.

En considérant les différents niveaux du facteur décrivant le lien entre l'animal et l'étudiant tels quels, on ne peut pas conclure sur une éventuelle différence entre les groupes ($P=0,2567$).

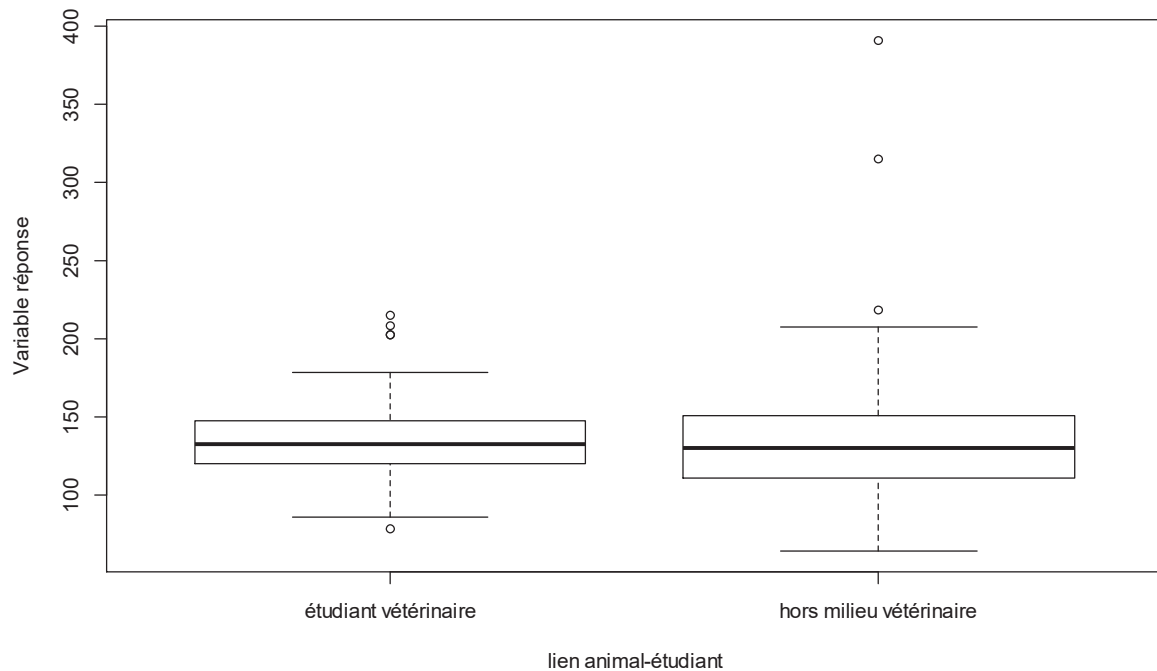


Figure 23 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$) en fonction du lien animal-étudiant.

Il en va de même lorsque le facteur est considéré comme ayant trois niveaux (étudiant vétérinaire, non étudiant vétérinaire et non renseigné) ($P=0,4002$).

On ne peut ainsi pas conclure sur un effet « propriétaire » sur les besoins énergétiques d'un chien (voir figures 22 et 23).

4.2.2.3. Race

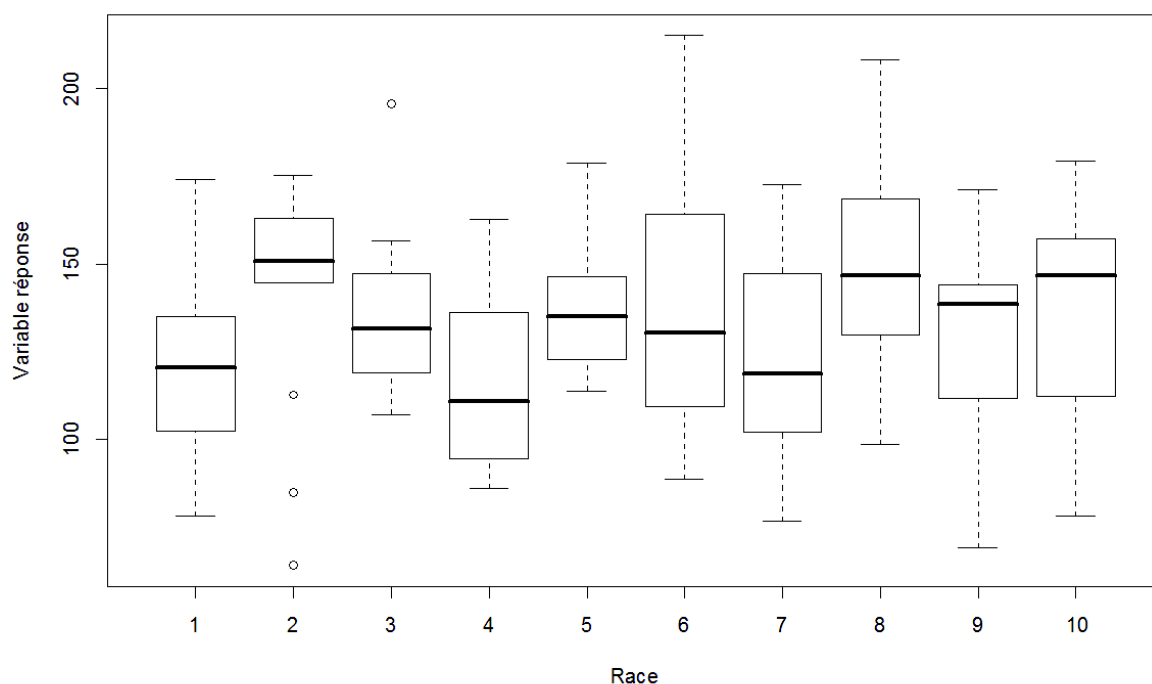


Figure 24 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298,A}-0,04968}$) en fonction de la race (pour tout $n \geq 8$). 1=Labrador, 2=berger belge, 3=Border collie, 4=golden retriever, 5=berger allemand, 6=fox terrier, 7=yorkshire terrier, 8=beauceron, 9=épagneul breton, 10=berger des Pyrénées.

Afin de conclure à un effet race sur les besoins énergétiques, il est nécessaire d'envisager des regroupements. Or, nous avons vu précédemment (voir 4.1.1.4.3.) que les chiens ne pouvaient être regroupés raisonnablement sur des critères cynotechniques. Par conséquent seuls les critères alimentaires ont été pris en compte, lorsque l'effectif était suffisant. La figure 24 représente la répartition de la variable réponse en fonction des 10 races les plus représentées dans l'échantillon, pour lesquelles l'effectif est supérieur ou égal à 8 individus. Cette limite a été considérée raisonnable pour éviter de regrouper entre elles des races n'ayant pas des besoins énergétiques communs.

Si l'on réalise des tests de Wilcoxon bivariés entre chacune des races dont l'effectif est supérieur à 8 et les autres chiens, on s'aperçoit que seules les races labrador ($p=0,067$), berger belge ($p=0,049$), golden retriever ($p=0,057$) et beauceron ($p=0,097$) peuvent être considérées comme pouvant différer des autres races (voir tableau 9). Ainsi, trois regroupements ont été réalisés : certains bergers (berger belge et beauceron), ayant des besoins énergétiques potentiellement supérieurs aux autres chiens, et à l'opposé certains retrievers (labrador et

golden) dont les besoins semblent moindres. Le troisième groupe, faisant office de référence, était quant à lui constitué de l'ensemble des chiens n'appartenant pas aux quatre races précédemment citées.

Tableau 9 : P-values des tests de Wilcoxon bivariés entre les races dont $n \geq 8$ et les autres (ensemble des chiens pour lesquels $n < 8$).

	Variable réponse (moyenne, en $\text{kcal.kg}^{-0,7298} \cdot \text{an}^{0,04968}$)	p-value
Labrador	119,7	0,067
Border collie	134,6	0,68
Berger belge	142,4	0,049
Golden retriever	115,6	0,057
Berger allemand	138,6	0,30
Fox terrier	139,2	0,69
Yorkshire terrier	122,5	0,35
Epagneul breton	126,7	0,89
Beauceron	151,3	0,097
Berger des Pyrénées	136,2	0,52

Pour les groupes précédemment définis, $p = 7,049 \cdot 10^{-4}$, on réalise donc les comparaisons des groupes deux à deux (résultats en tableau 10)

Tableau 10 : comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet race.

Comparaison	P-value	Seuil de significativité (3 comparaisons)
bergers - autres	0,006766	0,0167
retrievers - autres	0,0101	0,0167

Les chiens du groupe bergers (beauceron et berger belge) consomment en moyenne $145,9 \text{ kcal.kg}^{-0,7298} \cdot \text{an}^{0,04968}$, ce qui est significativement supérieur aux chiens du groupe témoin qui consomment en moyenne $133,1 \text{ kcal.kg}^{-0,7298} \cdot \text{an}^{0,04968}$. Cela correspond à un facteur de correction de 1,10.

A l'opposé, les chiens du groupe retriever, consomment $118,3 \text{ kcal.kg}^{-0,7298} \cdot \text{an}^{0,04968}$ en moyenne, ce qui est significativement différent des autres chiens. Cela correspond à un facteur de correction de 0,89.

4.2.2.4. Statut physiologique

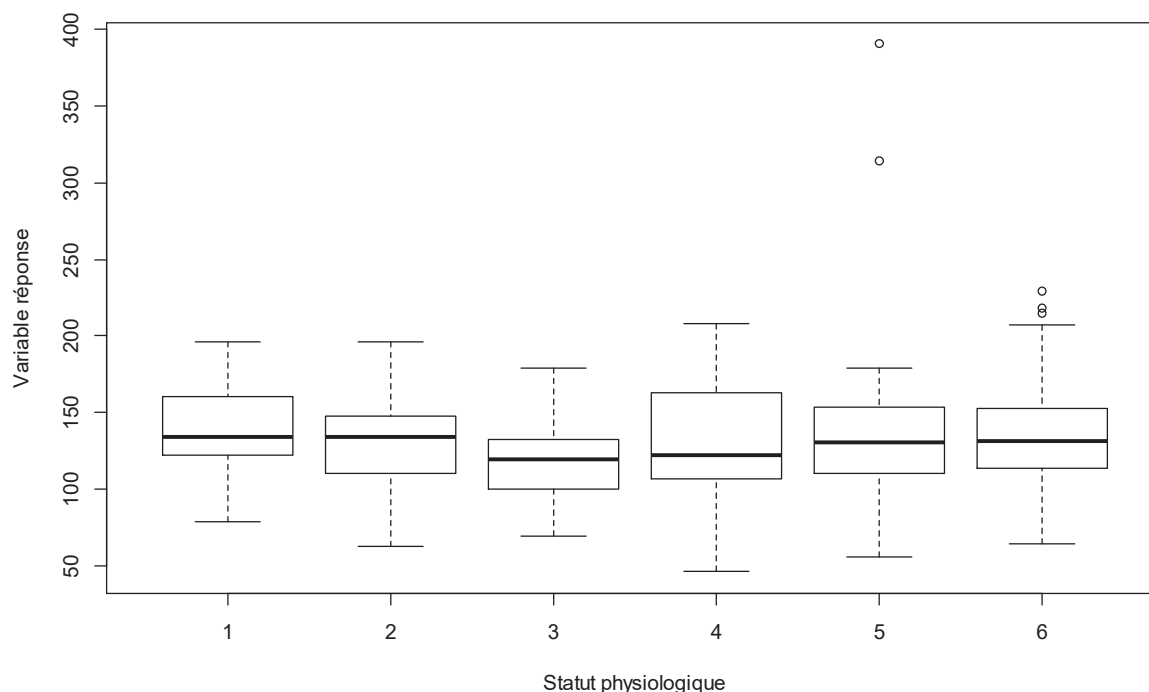


Figure 25 : Répartition de la variable réponse ($\frac{BEE}{p_{0,7298} \cdot A - 0,04968}$) en fonction du statut physiologique. 1=femelles non stérilisées. 2=mâles non stérilisés. 3=femelles stérilisées. 4=mâles stérilisés. 5=femelles non renseignées. 6=mâles non renseignés.

Lorsque l'on compare les animaux dont le statut stérilisé ou non est connu, on obtient une P-value pour le test de Kruskal-Wallis de 0,00816. La comparaison multiple consécutive est présentée en tableau 11.

Tableau 11 : Comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet sexe et statut physiologique.

Comparaison	P-value	Seuil de significativité (6 comparaisons)
Mâles entiers – femelles entières	0,281	0,0083
Femelles stérilisées – femelles entières	0,00112	0,0083
Mâles stérilisés – mâles entiers	0,6187	0,0083
Femelles stérilisées – mâles stérilisés	0,6187	0,0083

Il n'y a pas de différence significative entre les besoins énergétiques des mâles entiers et des femelles entières, consommant en moyenne respectivement 130,3 et 138,3 kcal.kg⁻¹.
0,7298.an^{0,04968} (voir tableau 11) En revanche les femelles stérilisées, consommant en moyenne

118,1 kcal.kg^{-0,7298}.an^{0,04968} ont des besoins significativement différents des femelles non stérilisées. Cela correspond à un facteur correcteur de 0,85 pour les individus stérilisés.

Concernant les mâles stérilisés, consommant en moyenne 130,1 kcal.kg^{-0,7298}.an^{0,04968}, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence, que ce soit par rapport aux mâles entiers ou aux femelles stérilisées.

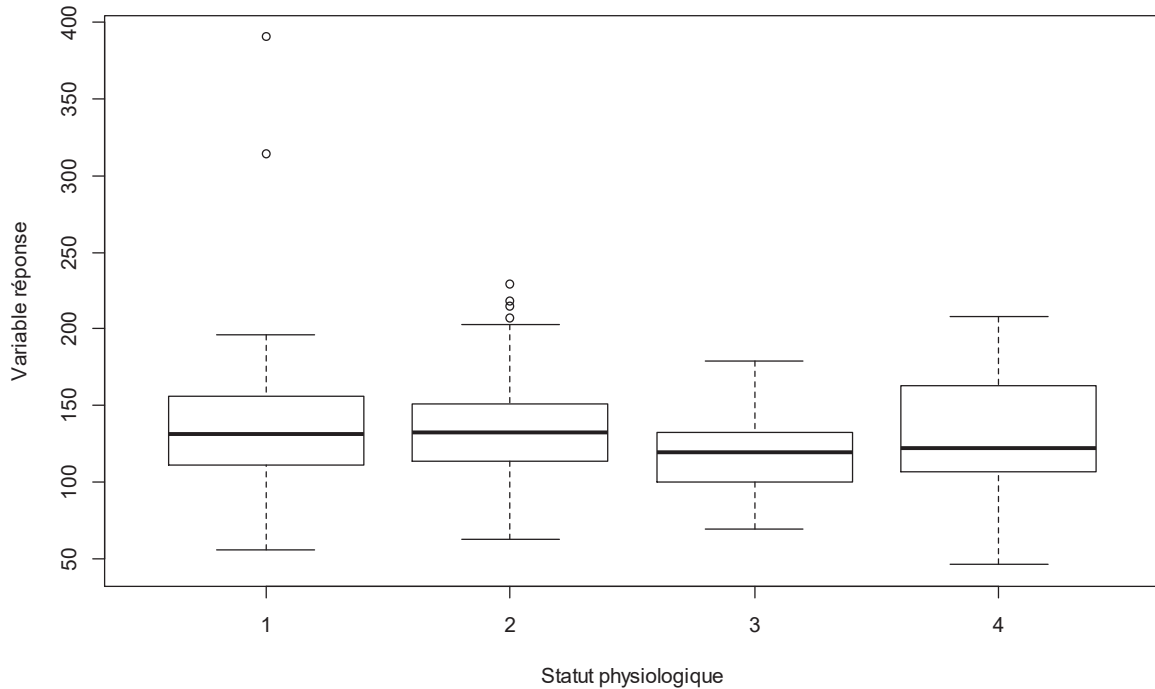


Figure 26 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du statut physiologique. 1=femelles non stérilisées et femelles non renseignées. 2=mâles non stérilisés et mâles non renseignés. 3=femelles stérilisées. 4=mâles stérilisés.

Si l'on considère les animaux dont le statut n'est pas renseigné comme des animaux non stérilisés, les résultats sont identiques (voir figure 26). En effet il n'y a alors pas de différence significative entre les femelles non stérilisées (consommant en moyenne 137,1 kcal.kg^{-0,7298}.an^{0,04968}), les mâles non stérilisés (consommant en moyenne 133,6 kcal.kg^{-0,7298}.an^{0,04968}) et les mâles stérilisés (consommant en moyenne 130,1 kcal.kg^{-0,7298}.an^{0,04968}). En revanche, les femelles stérilisées, consommant en moyenne 118,1 kcal.kg^{-0,7298}.an^{0,04968} ont des besoins énergétiques significativement différents des femelles non stérilisées.

4.2.2.5. Mode de vie

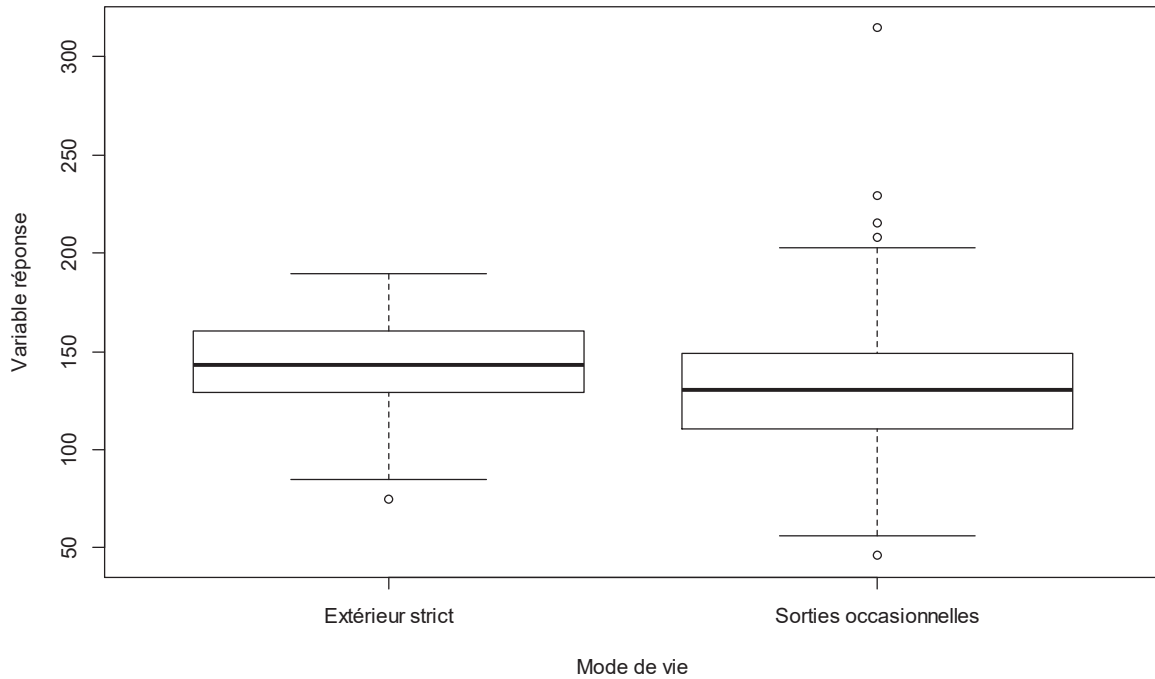


Figure 27 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du mode de vie.

En comparant seulement les chiens vivant en extérieur strict avec les chiens ne sortant qu'occasionnellement on obtient une P-value de 0,0178 (seuil de significativité 0,05). Ainsi, il existe une différence significative entre ces deux groupes, consommant respectivement en moyenne $141,4 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-0,7298} \cdot \text{an}^{0,04968}$ et $132,6 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-0,7298} \cdot \text{an}^{0,04968}$. Ce qui correspond à un facteur de correction de 1,07.

4.2.2.6. Tempérament

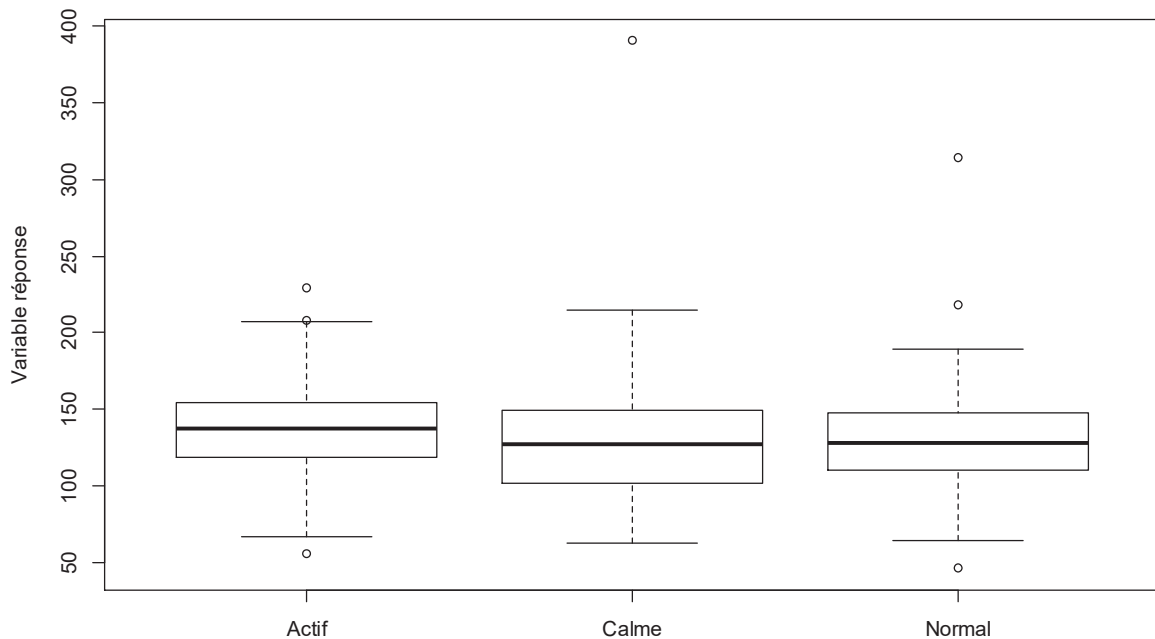


Figure 28 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du tempérament.

Lorsque l'on compare les différents niveaux tels quels, on obtient une P-value pour le test de Kruskal-Wallis de 0,00966. La comparaison multiple consécutive est présentée en tableau 12.

Tableau 12 : Comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet tempérament.

Comparaison	P-value	Seuil de significativité (3 comparaisons)
Actif-normal	0,0385	0,0167
Calme-normal	0,348	0,0167

Le seuil de significativité étant dans les deux cas inférieur à la p-value, il est, de cette manière et pour cet échantillon, impossible de mettre en évidence des différences significatives entre les différents tempéraments (voir figure 28).

Cependant, en considérant les deux groupes « calme ou normal » avec « actif », on obtient une P-value pour le test de Wilcoxon de 0,0133 (seuil de significativité 0,05). On peut alors conclure à une différence significative entre les chiens calmes ou normaux et les chiens actifs, consommant respectivement en moyenne $130,3 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$ et $137,7 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$. Cela correspond à un facteur correcteur de 1,06.

4.2.2.7. Type d'alimentation

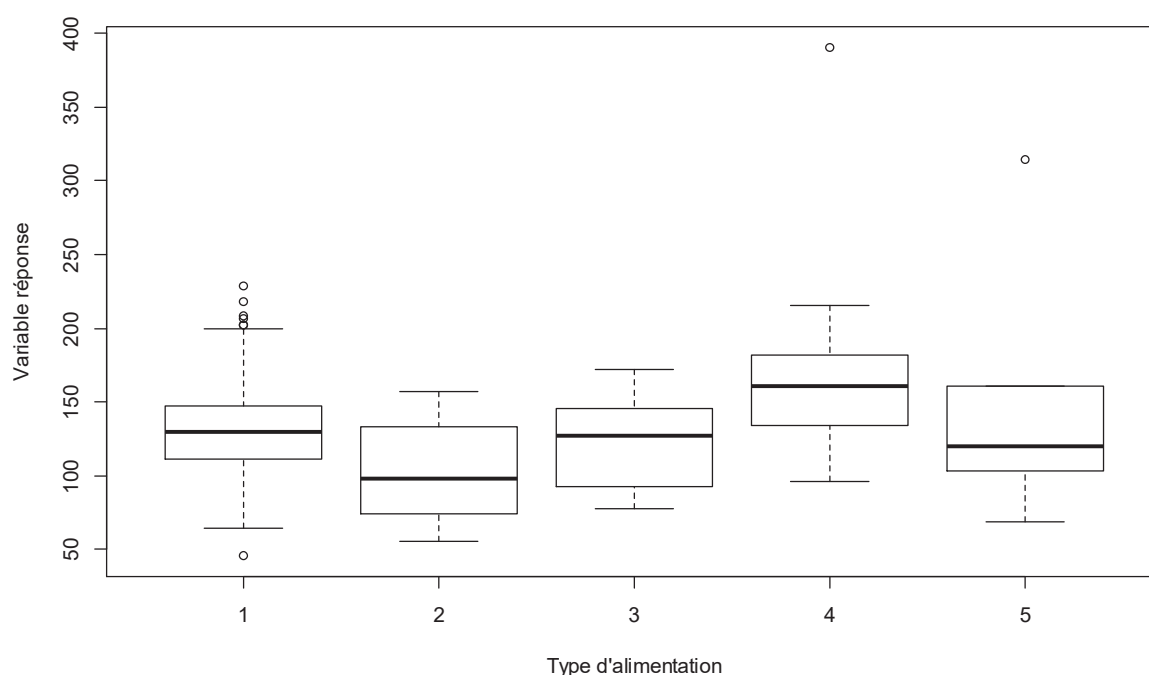


Figure 29 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction du type d'alimentation. 1=croquettes. 2=alimentation humide. 3= mélange d'aliments industriels. 4=mélange industriel + ration ménagère. 5=ration ménagère.

En considérant les niveaux tels quels, on obtient une P-value pour le test de Kruskal-Wallis de $8,87.10^{-4}$. La comparaison multiple consécutive est présentée dans le tableau 13.

Tableau 13 : Comparaison multiple (Wilcoxon bivarié) pour l'effet type d'alimentation

Comparaison	P-value	Seuil de significativité (10 comparaisons)
Sec-humide	0,00563	0,005
Sec-mélange indus	0,317	0,005
Sec-mélange indusRM	0,00177	0,005
Sec-RM	0,699	0,005

On n'observe pas de différence significative entre les chiens consommant une alimentation sèche ($131,7 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$), un mélange d'aliments industriels ($121,0 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$) ou une ration ménagère ($147,9 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$, voir figure 29). Cependant une tendance forte indiquerait une différence entre les besoins énergétiques des chiens consommant une alimentation industrielle sèche et ceux consommant une alimentation industrielle humide ($103,1 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$, $p=0,00563$ seuil de significativité 0,005). Par ailleurs, les animaux consommant une alimentation composée d'un mélange d'aliment industriel et d'une ration ménagère ont des besoins énergétiques significativement augmentés ($171,8 \text{ kcal.kg}^{-0,7298}.\text{an}^{0,04968}$). Cela correspond à un facteur correcteur de 1,30.

Notons que ce facteur n'est pas dépendant du chien considéré mais de son alimentation, indépendamment des caractéristiques physiologiques de l'individu.

4.2.2.8. Gamme de l'aliment

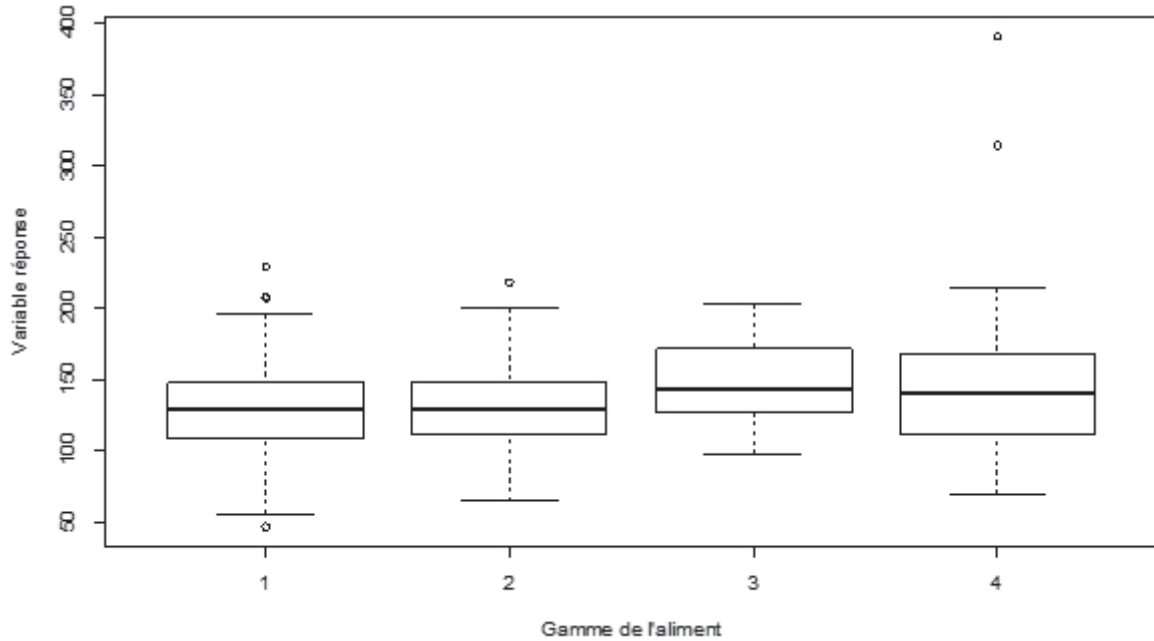


Figure 30 : Répartition de la variable réponse $\frac{BEE}{p^{0,7298} \cdot A^{-0,04968}}$ en fonction de la gamme de l'aliment. 1=<3€/kg. 2= \geq 3€/kg. 3=BARF, inconnus et introuvables. 4=ration complexe.

Concernant la gamme de l'aliment, on ne peut pas conclure sur une éventuelle différence entre les groupes considérés ($p=0,0980$).

4.2.3. Equation allométrique : bilan

Le raisonnement de cette étude a été bâti à partir des équations suivantes (voir 4.2.1.2.), selon si l'âge est pris en compte ou non de manière continue :

$$(1) BEE = \alpha \cdot P^\beta$$

et

$$(2) BEE = \alpha \cdot P^\beta \cdot age^\gamma$$

Selon l'équation considérée, deux modèles ont été calculés :

$$(1) \Leftrightarrow BEE = 119 \cdot P^{0,73} \quad (r^2 = \mathbf{0,813})$$

$$(2) \Leftrightarrow BEE = 128 \cdot P^{0,73} \cdot age^{-0,050} \quad (r^2 = \mathbf{0,817})$$

Le modèle (1) correspond au calcul réalisé sur l'ensemble des chiens de compagnie adultes et sains de l'échantillon, sans la prise en compte de l'âge de manière continue. C'est l'approche à l'heure actuelle la plus présente dans la littérature (voir tableau 4).

Le modèle (2) correspond à ce même calcul avec prise en compte de l'âge de manière continue, comme c'est le cas en nutrition humaine, et permettant l'adaptation constante de la ration d'un chien lorsque son âge avance. Ce modèle est applicable tel quel en absence d'information sur d'éventuels facteurs de correction du besoin énergétique.

En outre, en considérant l'équation (2), cinq facteurs ont été déterminés afin de corriger le besoin énergétique d'entretien en fonction de la race (k_1), du statut physiologique (k_2), du mode de vie (k_3), du tempérament (k_4) et du type d'alimentation (k_5). L'équation devient alors :

$$(3) BEE = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \alpha \cdot P^\beta \cdot age^\gamma$$

$$\Leftrightarrow \ln(BEE) = \ln(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \alpha \cdot P^\beta \cdot age^\gamma)$$

$$\Leftrightarrow \ln(BEE) - \sum_{i=1}^5 \ln(k_i) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P) + \gamma \cdot \ln(age)$$

Dans cette équation, $\ln(BEE) - \sum_{i=1}^5 \ln(k_i)$ est une fonction affine de $\ln(P)$ et $\ln(\hat{age})$. Avec k_1 à k_5 tels que déterminés précédemment dans l'étude, il a été possible de réaliser un retour sur le modèle proposé en 4.2.1.2. : les résultats associés sont détaillés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Résultats obtenus à partir de la régression linéaire $\ln(BEE) - \sum_{i=1}^5 \ln(k_i) = \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(P) + \gamma \cdot \ln(age)$. D'après R version 3.2.2 (2015-08-14)

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.02641 -0.13758  0.01594  0.14856  0.92795

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.82285     0.06217  77.572 < 2e-16 ***
lnage       -0.06068     0.01823  -3.329 0.000974 ***
lnpds       0.74433     0.01868  39.849 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2432 on 316 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.836, Adjusted R-squared:  0.835
F-statistic: 805.5 on 2 and 316 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

On obtient ainsi un modèle raffiné, résumé dans la figure 31.

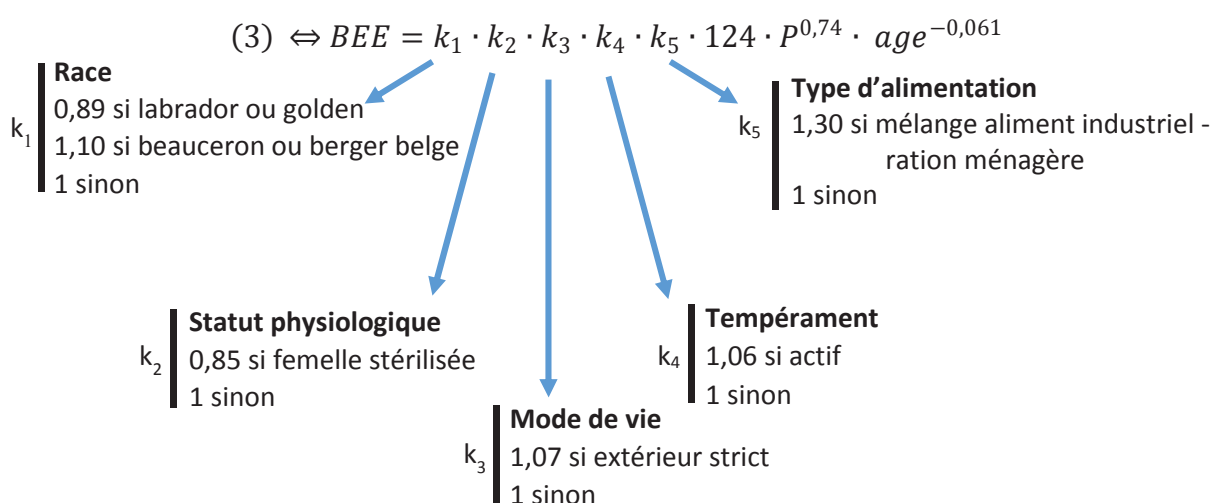


Figure 31 : Modèle de calcul du besoin énergétique d'entretien des chiens de compagnie français, en connaissance des facteurs de variation.

Le modèle (3) est le modèle ayant la précision la plus élevée ($r^2=0,836$) mais est défini en connaissance des cinq k_i déterminés dans cette étude. En l'absence d'information sur un ou plusieurs de ces facteurs de variation, le modèle (2) demeure le plus pertinent.

4.3. Epidémiologie descriptive : prévalence du surpoids et facteurs de risques associés

Les données collectées dans le cadre de cette étude ont également permis la réalisation d'une étude épidémiologique transversale liée au surpoids chez le chien. Cette section fait l'état des lieux des observations réalisées.

Cette approche se veut complémentaire de la précédente, à l'issue de laquelle des modèles de calcul du BEE ont été proposés. L'échantillon est ici constitué par l'ensemble des chiens pour lesquels le questionnaire était correctement rempli, soit $n=562$ chiens adultes. Cela a pour effet l'augmentation de l'effectif par facteur et par niveaux, augmentant la puissance des tests statistiques. Par ailleurs les facteurs de risques liés au surpoids sont logiquement liés aux facteurs influençant le BEE et cette approche peut permettre d'étayer les conclusions concernant un facteur, ou de mettre en évidence des effets ou des tendances non observées avec l'approche précédente.

Sur cet échantillon, $n=166$ chiens sont en surpoids, ce qui correspond à une prévalence moyenne de 29,5%. Concernant l'obésité, définie par un surpoids d'au moins 30% par rapport au poids idéal, neuf animaux sont concernés, soit 1,60% de l'échantillon. Du fait de cette

relativement faible prévalence, les animaux en surpoids (poids compris entre 100 et 130% de leur poids idéal) et obèses (poids supérieur ou égal à 130% de leur poids idéal), ont été ici considérés indifféremment comme étant en surpoids.

4.3.1. Méthodologie

Pour chaque facteur, la répartition du surpoids dans les différents sous-groupes a été représentée sous forme graphique (figures 32 à 44), puis la significativité des observations a été vérifiée par analyse des facteurs de risques, dont la synthèse a été présentée sous forme de tableaux (tableaux 16 à 25). Pour améliorer la lisibilité, les tables de contingence y sont rapportées sous forme de vecteur (S+E+, S+E-, S-E+, S-E-) correspondant aux effectifs respectifs des individus en surpoids exposés au facteur étudié, en surpoids non exposés, non en surpoids exposés et non en surpoids non exposés, comme résumé dans le tableau 15.

Tableau 15 : table de contingence entre l'état d'embonpoint et un facteur dont l'influence sur l'état d'embonpoint est étudiée.

		Exposition au facteur étudié	
		Exposition (E+)	Non exposition (E-)
Embonpoint	Surpoids (S+)	S+E+	S+E-
	Poids idéal ou sous poids (S-)	S-E+	S-E-

De la même manière que dans la section précédente, la correction de Bonferroni a été appliquée afin de contrôler le taux d'erreur de l'ensemble.

4.3.2. Facteur race

La figure 32 représente la prévalence de l'obésité en fonction de la race. Les individus appartenant au groupe « croisés » sont les individus dont le type racial n'est pas identifié ou issus de parents de deux types raciaux différents. Seules les races dont l'effectif est supérieur ou égal à 12 sont ici étudiées.

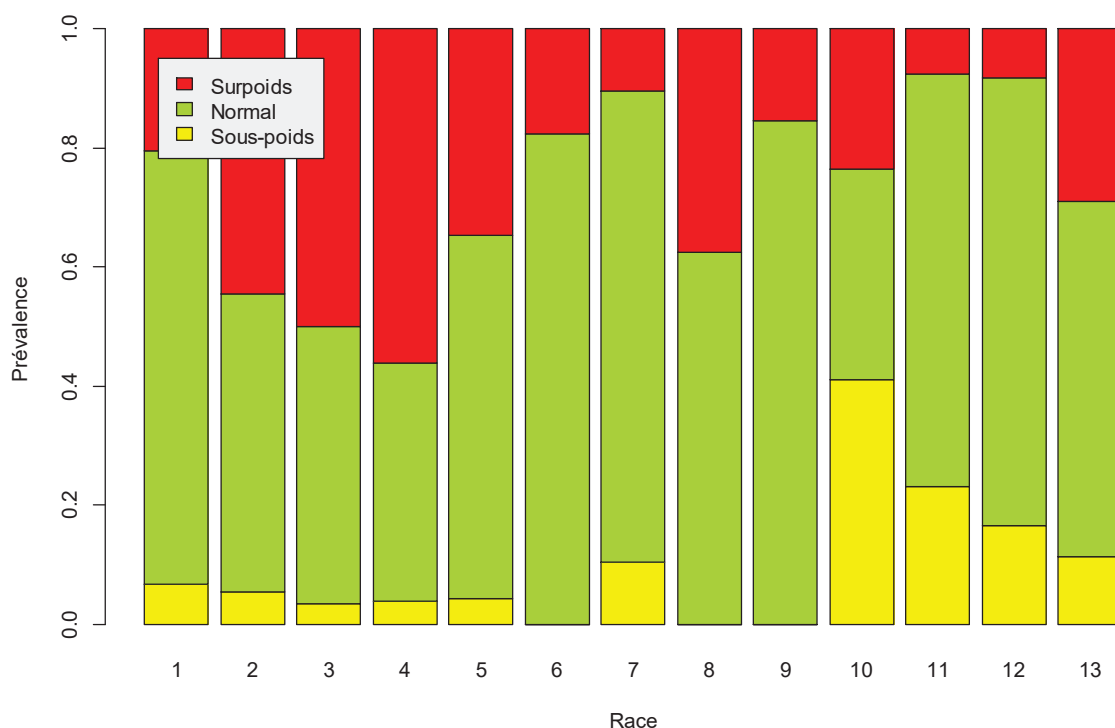


Figure 32 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la race. 1=Croisé, 2=Labrador, 3=Golden retriever, 4=Epagneul breton, 5=Berger allemand, 6=Berger belge, 7=Border collie, 8=Yorkshire terrier, 9=Fox terrier, 10=Setter anglais, 11=Beauceron, 12=Berger des Pyrénées, 13=Autres.

Tableau 16 : Etude de la race comme facteur de risque lié au surpoids. ¹ Le groupe témoin se définit par tous les animaux de l'échantillon n'appartenant pas à la race étudiée. Les cases grisées correspondent à $p < 0,05$.

Race (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
Croisé (88)	Autres ¹ (474)	18	148	70	326	0,566	[0,326 ; 0,985]	0,0422	4,17. 10 ⁻³
Labrador (54)	Autres ¹ (508)	24	142	30	366	2,06	[1,17 ; 3,65]	0,0116	4,17. 10 ⁻³
Golden (28)	Autres ¹ (534)	14	152	14	382	2,51	[1,17 ; 5,40]	0,0150	4,17. 10 ⁻³
Epagneul breton (25)	Autres ¹ (537)	14	152	11	385	3,22	[1,43 ; 7,26]	3,03. 10 ⁻³	4,17. 10 ⁻³
Berger allemand (23)	Autres ¹ (539)	8	158	15	381	1,29	[0,535 ; 3,09]	0,574	4,17. 10 ⁻³
Border collie (19)	Autres ¹ (543)	2	164	17	379	0,272	[0,0621 ; 1,19]	0,0649	4,17. 10 ⁻³

Berger belge (17)	Autres ¹ (545)	3	163	14	382	0,502	[0,142 ; 1,77]	0,276	4,17. 10 ⁻³
Setter anglais (17)	Autres ¹ (545)	4	162	13	383	0,727	[0,234 ; 2,26]	0,582	4,17. 10 ⁻³
Yorkshire terrier (16)	Autres ¹ (546)	16	6	160	10	1,45	[0,517 ; 4,05]	0,479	4,17. 10 ⁻³
Fox terrier (13)	Autres ¹ (549)	2	164	11	385	0,427	[0,0936 ; 1,95]	0,258	4,17. 10 ⁻³
Beauceron (13)	Autres ¹ (549)	1	165	12	384	0,194	[0,0250 ; 1,50]	0,0809	4,17. 10 ⁻³
Berger des Pyrénées (12)	Autres ¹ (550)	1	165	11	385	0,212	[0,0272 ; 1,66]	0,104	4,17. 10 ⁻³

Comme le montre le tableau 16, seule la race Epagneul breton représente un facteur de risque lié au surpoids de façon significative. Une tendance est également observée en ce sens pour les chiens de race Labrador et Golden retriever.

Notons par ailleurs que les chiens de race Setter anglais ont significativement plus de chances d'être en insuffisance pondérale que les autres chiens (OR=7,59, intervalle de confiance 95% = [2,76 ; 20,9], $p=5,52.10^{-6}$, seuil de significativité $4,17.10^{-3}$). Dans cet échantillon, c'est la seule race dans ce cas.

4.3.3. Facteur lien entre l'animal et l'étudiant

L'effet du propriétaire de l'animal sur son état d'embonpoint est exposé en figure 33 et tableau 17. Le témoin est constitué des chiens appartenant à des personnes considérées comme suffisamment éloignées du milieu vétérinaire (famille hors parents de l'étudiant et autres).

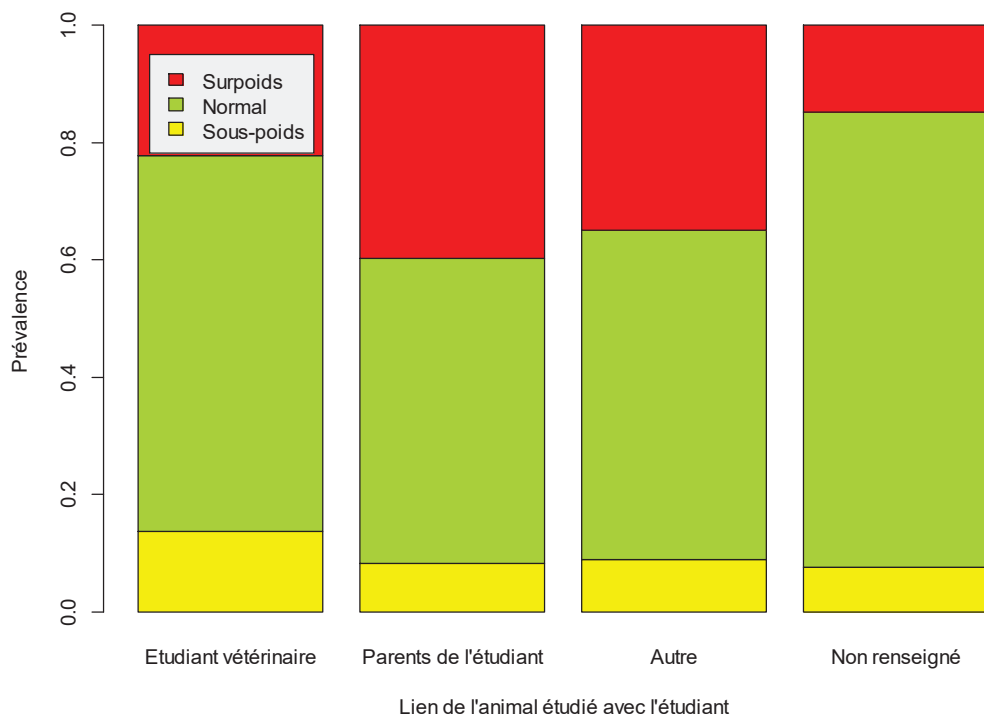


Figure 33 : répartition de l'état d'embonpoint en fonction du lien entre l'animal étudié et l'étudiant ayant rempli le questionnaire.

Tableau 17 : Etude du lien de l'animal avec le milieu vétérinaire comme facteur de risque lié au surpoids.

Propriétaire (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
Etudiant vétérinaire (117)	Autres (89)	26	31	91	58	0,535	[0,289 ; 0,990]	0,0456	0,0167
Etudiant vétérinaire (117)	Parents étudiant (227)	26	90	91	137	0,435	[0,261 ; 0,725]	1,22.10 ⁻³	0,0167
Parents étudiant (227)	Autres (89)	90	31	137	58	1,23	[0,738 ; 2,05]	0,429	0,0167

Ainsi l'appartenance d'un chien à un étudiant vétérinaire diminue de moitié ses risques d'être en surpoids. Notons en outre que cette appartenance n'augmente pas significativement les risques d'être en insuffisance pondérale ($p=0,300$).

4.3.4. Facteur âge

L'effet de l'âge de l'animal sur son état d'embonpoint est exposé en figure 34 et tableau 18. Chaque tranche d'âge est comparée à la tranche d'âge inférieure, qui constitue donc le témoin. En effet on peut se questionner sur la pertinence de comparer les chiens d'une tranche d'âge à une autre, si ces tranches sont séparées de plusieurs années. Les tranches d'âge pour l'analyse des facteurs de risques ont été fixées de manière à obtenir un effectif par tranche relativement constant. Les individus dont l'âge excédait 15 ans ont été exclus de la représentation graphique car leur faible effectif aurait pu conduire à des confusions.

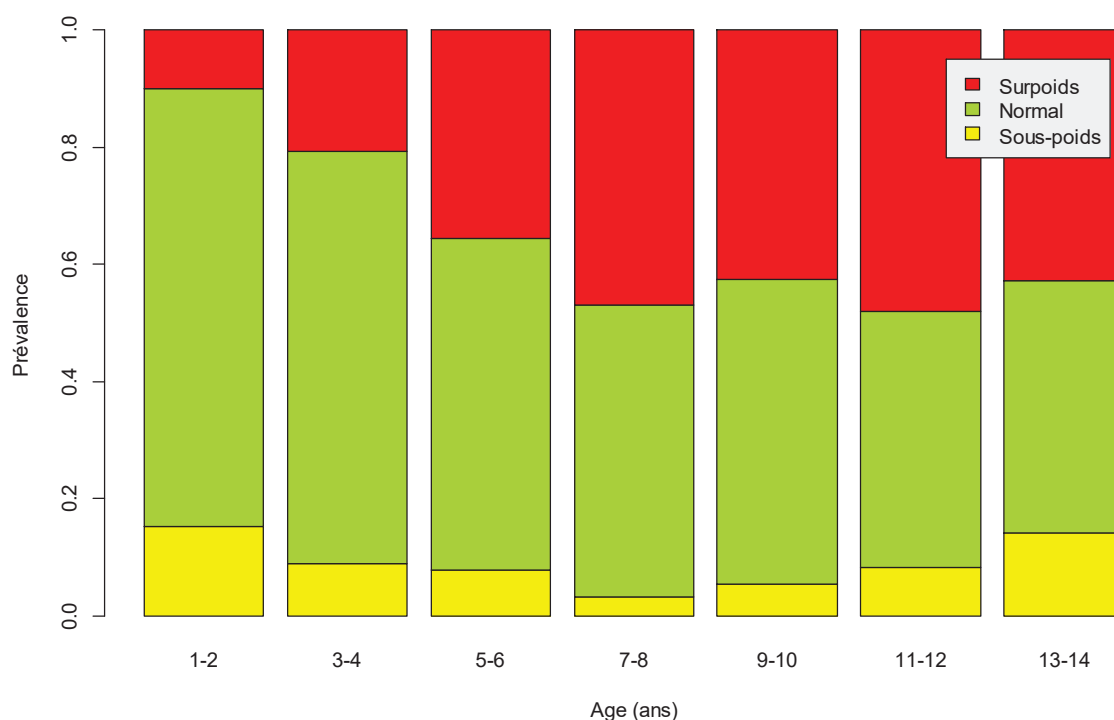


Figure 34 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de l'âge.

Tableau 18 : Etude de l'âge comme facteur de risque lié au surpoids.

Age (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
[2,5 ; 5[ans (125)	[1 ; 2,5[ans (136)	25	13	100	123	2,37	[1,15 ; 4,86]	0,0161	0,0167
[5 ; 7,5[ans (109)	[2,5 ; 5[ans (125)	42	25	67	100	2,51	[1,40 ; 4,50]	1,80. 10 ⁻³	0,0167
≥7,5 ans (192)	[5 ; 7,5[ans (109)	86	42	106	67	1,29	[0,801 ; 2,09]	0,292	0,0167

L'âge représente un facteur de risque significatif pour le surpoids chez les chiens de compagnie. Ainsi un chien de plus de 2,5 ans a 2,5 fois plus de chances d'être en surpoids que les chiens plus jeunes, et lorsque l'âge atteint 5 ans le risque est à nouveau multiplié par 2,5.

4.3.5. Facteur sexe et statut physiologique

L'effet du sexe et de la stérilisation sur le surpoids est exposé en figure 35 et tableau 19. La prévalence du surpoids dans les différents groupes était de 26,7% pour les femelles non stérilisées (NS), 25,7% pour les mâles non stérilisés, 27,3% pour les femelles dont le statut n'était pas clairement identifié (NR), 23,8% pour les mâles dans ce même cas, 42,9% pour les femelles stérilisées (S) et 35,9% pour les mâles stérilisés. Les mâles NS ont été regroupés avec les mâles NR afin d'améliorer la sensibilité du test. Ce regroupement a été considéré car la prévalence du surpoids est similaire dans les deux groupes.

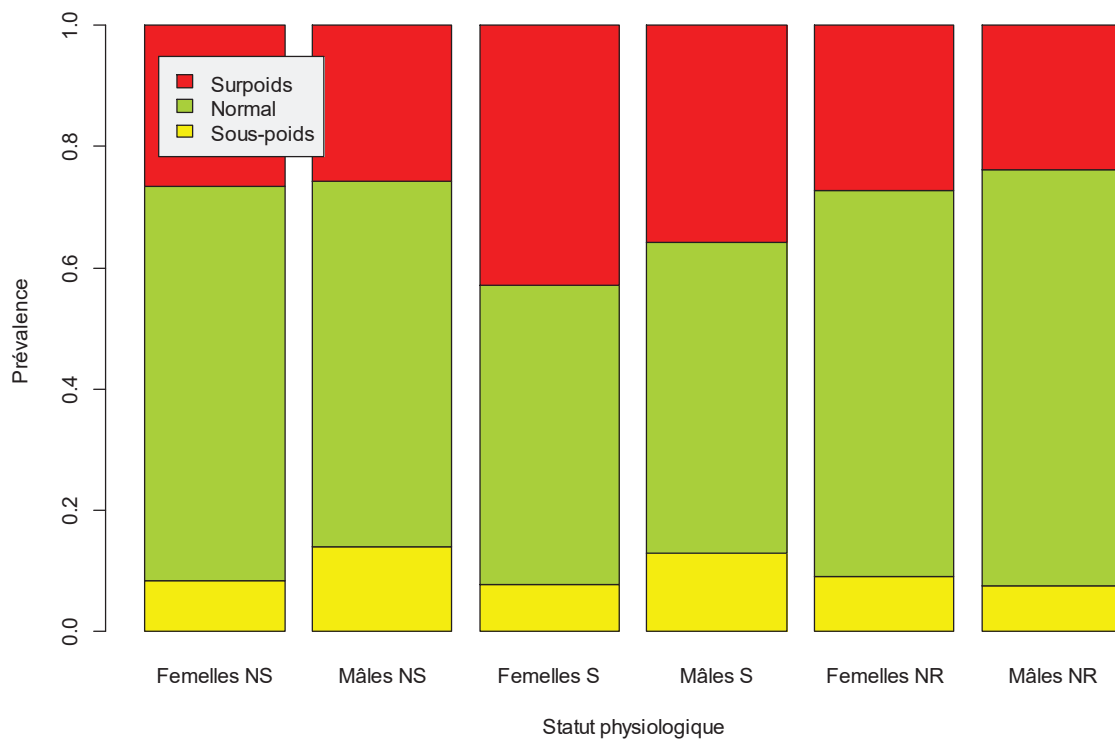


Figure 35 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du statut physiologique (NS= Non stérilisé, S=Stérilisé, NR=Non Renseigné).

Tableau 19 : Etude du statut physiologique comme facteur de risque lié au surpoids.

Statut (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
Femelles NS (60)	Mâles NS (99)	16	26	44	75	1,05	[0,508 ; 2,17]	0,898	0,0125
Femelles S (105)	Femelles NS (60)	45	16	60	44	2,06	[1,03 ; 4,11]	0,0388	0,0125
Mâles S (39)	Mâles NS (99)	14	26	25	75	1,62	[0,732 ; 3,57]	0,235	0,0125
Mâles S (39)	Mâles NS + Mâles NR (248)	14	61	25	187	1,72	[0,840 ; 3,51]	0,136	0,0125

Le sexe, ainsi que le statut physiologique, ne semble pas avoir d'influence sur le risque de surpoids (voir tableau 19). Une tendance est cependant observée pour les femelles stérilisées, qui ont environ deux fois plus de chances d'être en surpoids que les femelles non stérilisées ($p=0,0388$, seuil de significativité 0,0125). L'effectif de mâles stérilisés, relativement faible, ne permet pas de mettre en évidence de facteur de risque.

4.3.6. Facteur tempérament

L'effet du tempérament sur le surpoids est étudié en figure 36 et tableau 20. Les individus pour lesquels le tempérament n'était pas clairement identifié sur le questionnaire sont ici exclus.

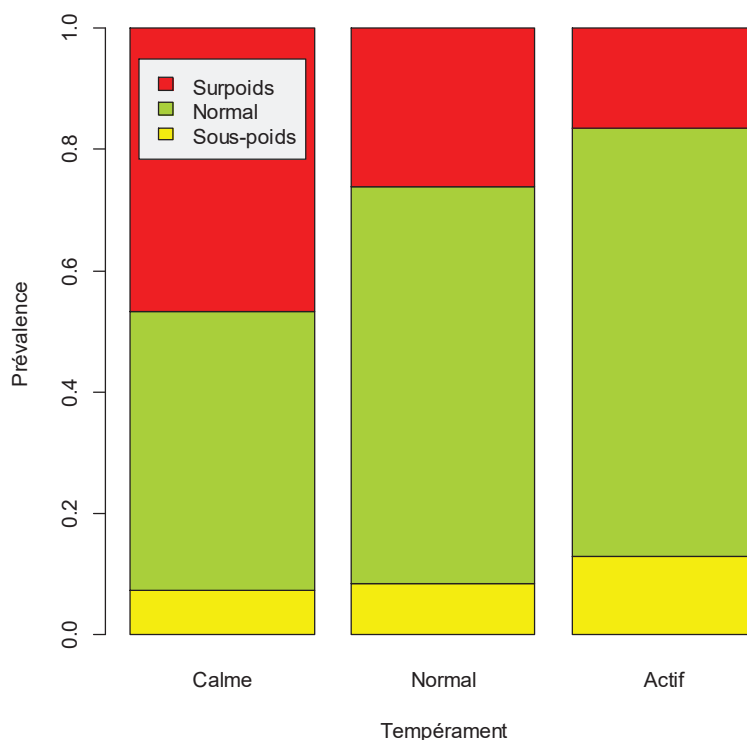


Figure 36 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du tempérament.

Tableau 20 : Etude du tempérament comme facteur de risque lié au surpoids.

Tempérament (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
Calme (139)	Normal (229)	65	60	74	169	2,47	[1,59 ; 3,86]	5,52. 10 ⁻⁵	0,025
Actif (163)	Normal (229)	27	60	136	169	0,559	[0,337 ; 0,929]	0,0238	0,025

Le tempérament a un effet significatif sur le risque de surpoids. Ainsi un animal calme a 2,5 fois plus de chances d'être en surpoids qu'un animal au tempérament normal. A l'opposé, un animal actif bénéficie d'un facteur protecteur par rapport aux animaux normaux, et a près de deux fois moins de chances que ces derniers d'être atteint de surpoids.

4.3.7. Facteur mode de vie

L'effet du mode de vie sur le surpoids est étudié en figure 37. Les individus pour lesquels le mode de vie n'était pas clairement identifié sur le questionnaire sont ici exclus.

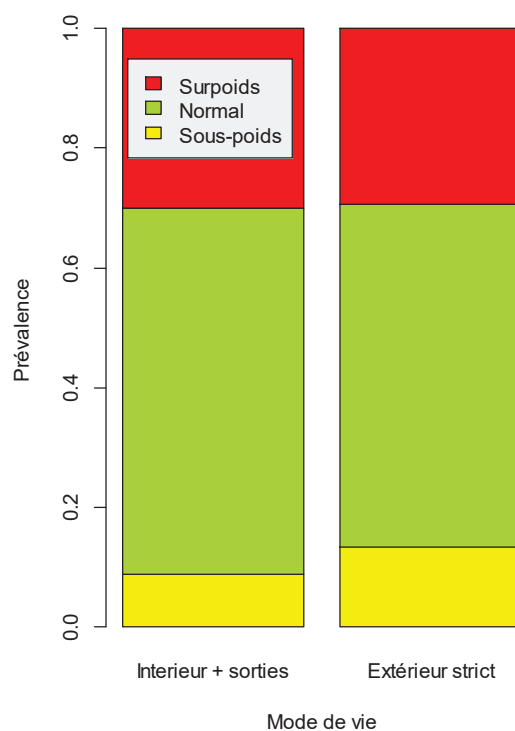


Figure 37 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du mode de vie

Comme le laissait supposer la prévalence du surpoids extrêmement proche dans les deux groupes (29,9% pour le groupe intérieur + sorties contre 29,3% pour le groupe extérieur strict), on ne peut conclure à un effet significatif du mode de vie sur le risque de surpoids ($p=0,971$, seuil de significativité 0,05). Il en va de même pour le risque d'insuffisance pondérale ($p=0,219$, seuil de significativité 0,05).

4.3.8. Facteur type d'alimentation

L'effet de la gamme d'aliment utilisée comme facteur de risque lié au surpoids est étudié en figure 38 et tableau 21. L'interprétation graphique est à considérer avec précaution compte tenu de l'effectif par groupe, souvent très faible (n=11 individus consommaient une ration ménagère, n=18 individus consommaient une ration humide, n=19 individus consommaient une ration composée de plusieurs aliments industriels et n=24 individus consommaient une ration composée d'un aliment industriel et une ou plusieurs denrées).

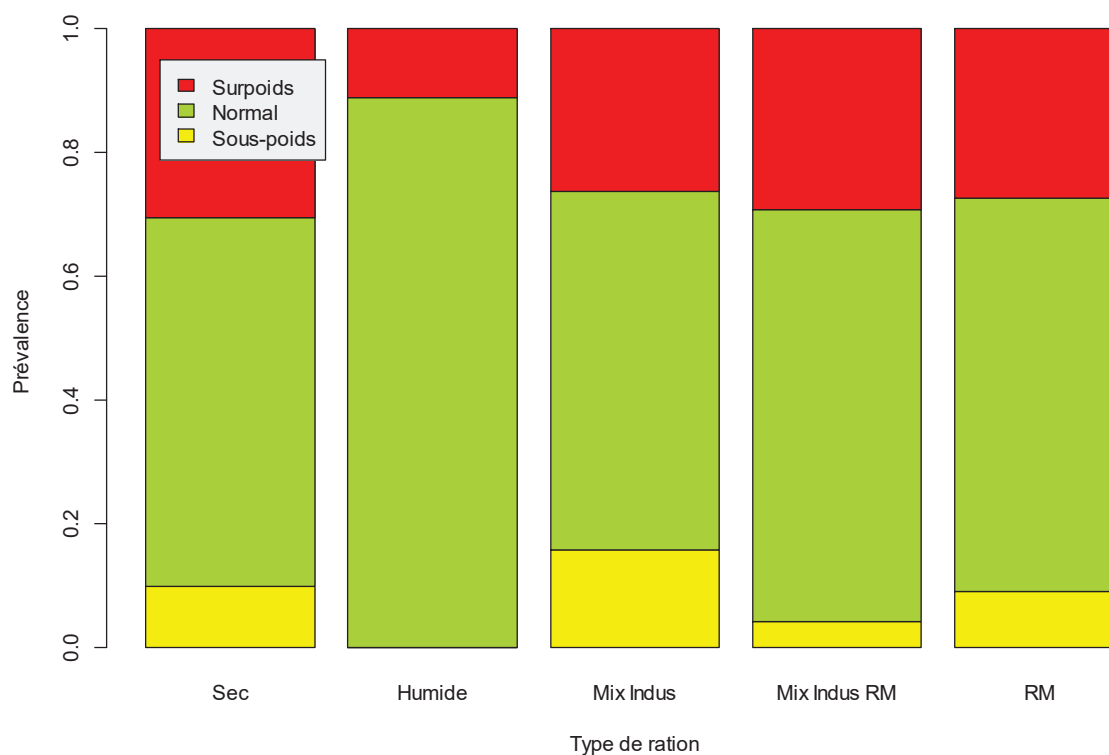


Figure 38 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du type de ration.

Tableau 21 : Etude du type de ration comme facteur de risque lié au surpoids

Ration (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
Humide (18)	Sec (490)	2	149	16	341	0,286	[0,0650 ; 1,26]	0,0788	0,0125
Mélange d'aliments industriels (19)	Sec (490)	5	149	14	341	0,817	[0,289 ; 2,31]	0,704	0,0125
Mélange aliments industriels – denrées (24)	Sec (490)	7	149	17	341	0,942	[0,383 ; 2,32]	0,897	0,0125
Ration ménagère (11)	Sec (490)	3	149	8	341	0,858	[0,225 ; 3,28]	0,823	0,0125

Concernant le type d'alimentation, aucun facteur de risque n'a pu être mis en évidence de façon significative. On observe une tendance de l'alimentation humide à être un facteur

protecteur vis-à-vis du surpoids par rapport à l'alimentation sèche ($p=0,0788$, seuil de significativité 0,0125).

4.3.9. Facteur densité énergétique

La densité énergétique correspond à la quantité d'énergie contenue dans une masse donnée d'aliment. Elle est directement liée à l'effet satiétogène de la ration. La figure 39 représente l'estimation de densité des densités énergétiques de l'échantillon en fonction du type de ration.

Comme le montre cette figure, une approche différente est possible pour l'étude de l'effet du type de ration comme facteur de risque lié au surpoids chez le chien. En effet plutôt que de considérer les différentes rations en fonction de leur composition, on peut les différencier sur la base de leur densité énergétique. Ainsi ont été définis quatre sous-groupes, dont les limites sont détaillées dans le tableau 22.

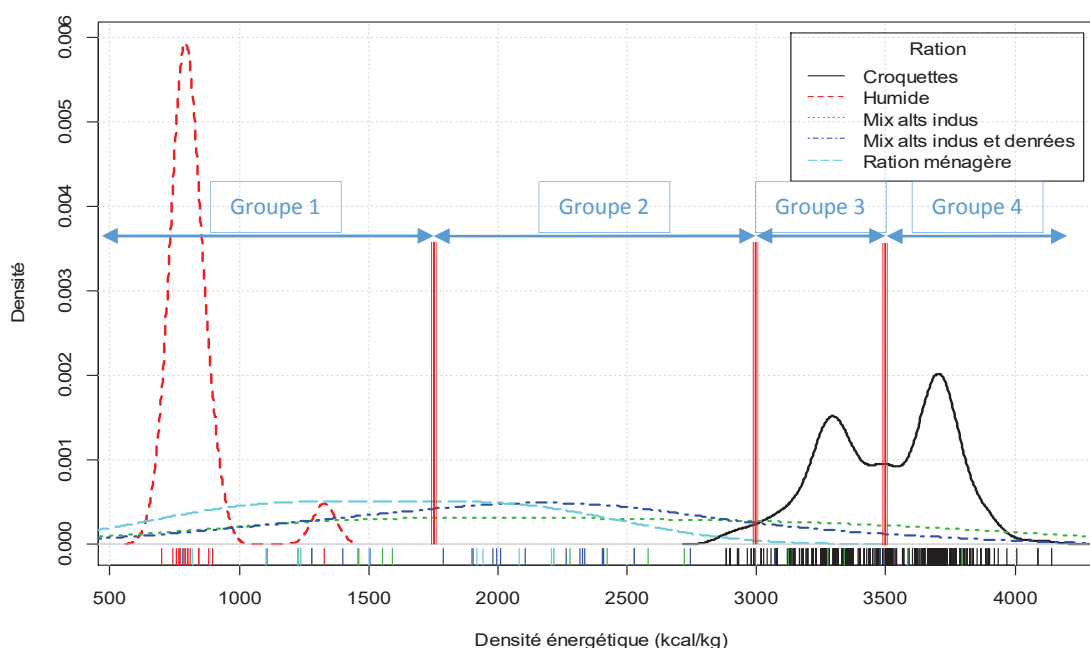


Figure 39 : Estimation de densité des densités énergétiques en fonction du type de ration.

Tableau 22 : définition des sous-groupes pour l'étude de la densité énergétique comme facteur de risque lié au surpoids.

Sous-groupe	n	Bornes
1	37	< 1750 kcal/kg
2	40	[1750 – 3000[kcal/kg
3	223	[3000 – 3500[kcal/kg
4	262	≥ 3500 kcal/kg

Les sous-groupes 3 et 4 correspondent aux différents pics de densité observés pour les aliments secs sur la figure.

La répartition de l'état d'embonpoint en fonction des groupes ainsi définis est représentée en figure 41. L'étude de ces groupes comme facteurs de risque liés au surpoids est ensuite présenté en tableau 23.

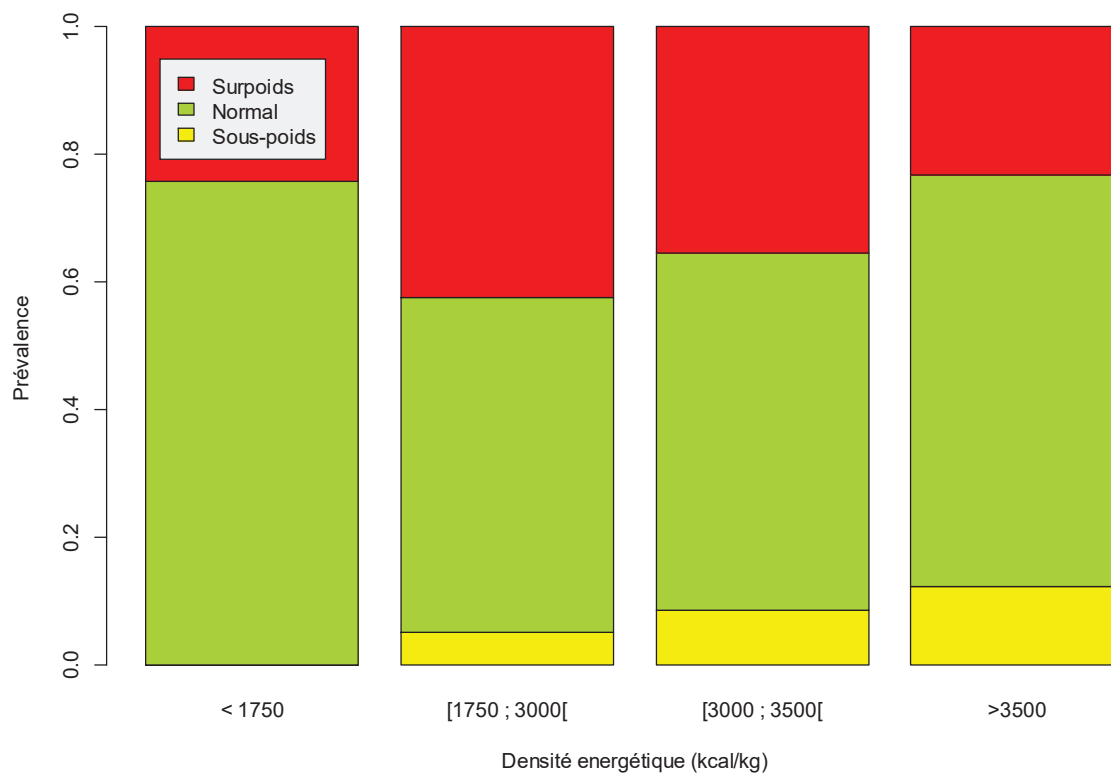


Figure 40 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la densité énergétique.

Tableau 23 : Etude de la densité énergétique comme facteur de risque lié au surpoids

Groupe (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
2 (40)	1 (37)	17	9	23	28	2,30	[0,865 ; 6,12]	0,0941	0,0125
3 (223)	2 (40)	79	17	144	23	0,742	[0,374 ; 1,47]	0,393	0,0125
4 (262)	3 (223)	61	79	201	144	0,553	[0,372 ; 0,823]	3,30. 10 ⁻³	0,0125
1 (37)	3 (223)	9	79	28	144	0,586	[0,263 ; 1,30]	0,187	0,0125

Ainsi, nourrir un chien avec un aliment dont la densité énergétique est supérieure à 3500kcal/kg est un facteur protecteur par rapport au surpoids, lorsque comparé à un chien consommant un aliment dont la densité énergétique est comprise entre 3000 et 3500 kcal/kg. Concernant les densités énergétiques basses, bien qu'une tendance soit observée sur la figure 41, la différence entre les groupes n'est pas significative.

4.3.10. Facteur gamme de l'aliment

L'effet de la gamme d'aliment comme facteur de risque lié au surpoids est étudié en figure 42. Seuls les animaux nourris avec une ration simple constituée d'un seul aliment industriel sont ici considérés. Les gammes d'aliments sont telles que définies en 4.2.1.4.1.

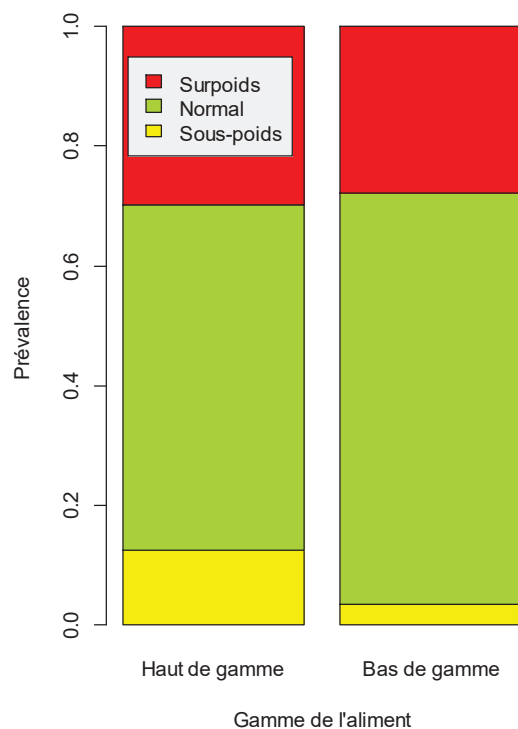


Figure 41 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la gamme de l'aliment.

La gamme de l'aliment, telle de définie dans cette étude, ne constitue pas un facteur de risque pour le surpoids ($p=0,702$). En revanche concernant l'insuffisance pondérale, les chiens nourris avec un aliment bas de gamme ont environ quatre fois moins de chances d'être en sous poids que les chiens nourris avec un aliment haut de gamme ($OR=0,257$, $IC95\%=[0,0995 ; 0,664]$, $p=2,74.10^{-3}$, seuil de significativité 0,05).

4.3.11. Facteur nombre de repas par jour

Le schéma d'alimentation quotidien comme facteur de risque lié au surpoids est étudié en figure 43 et tableau 24. A nouveau, les animaux pour lesquels le nombre de repas par jour n'était pas clairement identifié ont été ici exclus ($n=2$).

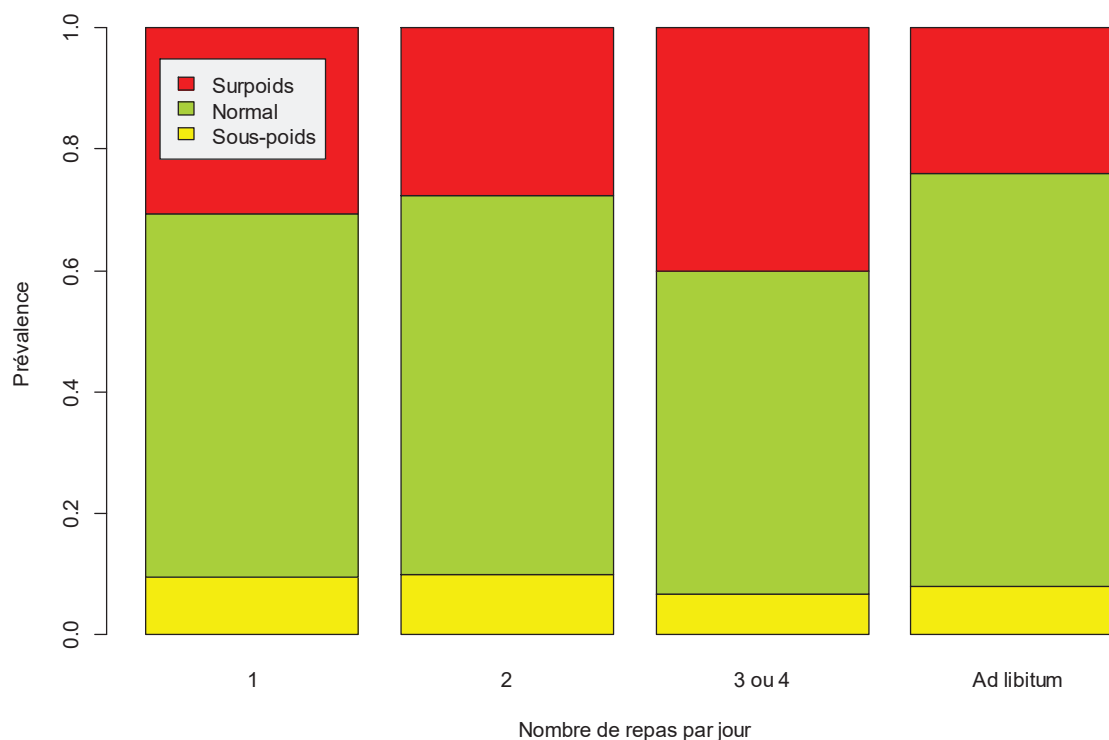


Figure 42 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction du nombre de repas distribués dans la journée.

Tableau 24 : Etude du nombre de repas distribués quotidiennement comme facteur de risque lié au surpoids.

Nombre de repas (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
2 (264)	1 (256)	81	71	183	185	1,15	[0,790 ; 1,68]	0,461	0,0167
3 ou 4 (15)	2 (264)	6	71	9	185	1,74	[0,597 ; 5,06]	0,307	0,0167
Ad libitum (25)	1 (256)	6	81	19	183	0,713	[0,275 ; 1,85]	0,487	0,0167

Concernant le rythme auxquels sont distribués les repas quotidiennement, aucune différence significative n'est observée quant aux risques de surpoids.

4.3.12. Facteur affection intercurrente

Le diagnostic d'une maladie est étudié comme facteur de risque lié au surpoids en figure 44 et tableau 25. Les maladies dont l'effectif était faible (inférieur à 10) ont été regroupées comme « autres affections ».

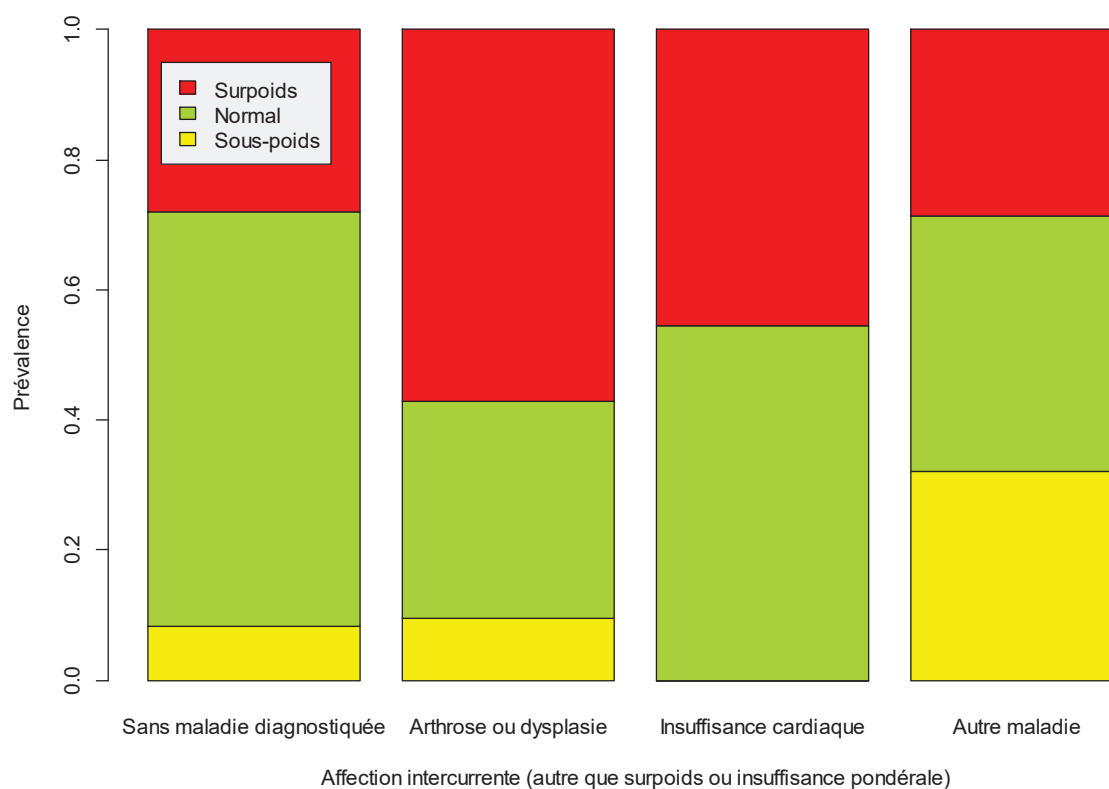


Figure 43 : Répartition de l'état d'embonpoint en fonction de la présence ou non d'affection intercurrente

Tableau 25 : Etude de la présence ou non d'affection intercurrente comme facteur de risque associé au surpoids.

Maladie diagnostiquée (n)	Témoin (n)	O+E+	O+E-	O-E+	O-E-	OR	IC 95%	P-value	Seuil
Arthrose ou dysplasie (21)	Sans maladie	12	141	9	361	3,41	[1,41 ; 8,28]	4,17. 10 ⁻³	0,0167
Insuffisance cardiaque (11)	Sans maladie	5	141	6	361	2,13	[0,641 ; 7,10]	0,207	0,0167
Autre maladie (28)	Sans maladie	8	141	20	361	1,02	[0,441 ; 3,28]	0,956	0,0167

Concernant les maladies diagnostiquées, les maladies articulaires dégénératives représentent un facteur de risque conséquent en augmentant le risque de surpoids d'un facteur 3,4. Ce résultat est cependant à moduler car sur une étude de type transversal, comme c'est ici le cas, impossible de statuer sur le fait que le surpoids soit la cause ou la conséquence de la maladie. Cependant ces deux affections sont indubitablement liées.

On peut par ailleurs observer sur la figure 44 une forte proportion d'animaux en insuffisance pondérale dans le groupe des « autres maladies » par rapport aux animaux sans maladie diagnostiquée. L'effet des autres maladies est en effet fortement corrélé au sous-poids (OR=5,19 IC95%=[2,21 ; 12,2] p=3,53.10⁻⁵, seuil de significativité=0,0167). De la même manière que pour le surpoids et les maladies articulaires, il est impossible de différencier la cause de la conséquence entre les phénomènes d'insuffisance pondérale et les autres affections.

4.3.13. Epidémiologie descriptive : bilan

Concernant le surpoids, le facteur de risque le plus important qui a été mis en évidence est **l'âge** : les animaux de plus de 2,5 ans ont 2,5 fois plus de chances d'être en surpoids que les individus plus jeunes. Ce risque augmente encore lorsque l'âge avance, avec encore 2,5 fois plus de chances d'être en surpoids passé 5 ans qu'entre 2,5 et 5 ans. Cet effet peut s'expliquer en partie si l'on considère qu'une fois en surpoids, les chances d'être à un poids optimal quelques années plus tard diminuent. Cependant les tranches d'âge ici considérées étant de même taille, cela ne pourrait contribuer qu'à un facteur multiplicateur de deux entre chaque tranche d'âge, en considérant que tout chien en surpoids ne reviendrait jamais à un poids idéal. L'âge est donc bel et bien un facteur de risque lié au surpoids.

Comme attendu, **le lien entre l'animal étudié et l'étudiant ayant rempli le questionnaire** a eu un effet significatif. Ainsi le fait d'appartenir à un étudiant vétérinaire constitue un facteur protecteur vis-à-vis du surpoids par rapport aux chiens dont les propriétaires sont les parents des étudiants vétérinaires.

Le **tempérament** de l'animal a également un rôle important dans le risque de surpoids. En effet, on observe que les animaux ayant un tempérament calme ont près de 2,5 fois plus de chances d'être en surpoids. A l'opposé, les animaux au tempérament actif bénéficient d'un facteur protecteur par rapport aux individus au tempérament normal : ils ont près de deux fois moins de chances d'être atteints de surpoids que ces derniers.

La **race** joue un rôle important : les chiens de race épagneul breton ont 3 fois plus de chance d'être en surpoids que les chiens d'autres races. Une tendance en ce sens est également observée pour les chiens de race labrador et golden retriever (voir tableau 16).

En l'absence de stérilisation, le **sexe** n'a pas d'influence sur le risque d'être en surpoids. En outre, **la stérilisation** multiplie ce risque chez les femelles par un facteur deux. Concernant

les mâles la même tendance est observée mais le faible effectif de mâles stérilisés dans l'échantillon empêche de conclure avec certitude.

Le **mode de vie** n'a pas d'effet significatif sur le risque de surpoids. Il en va de même pour les facteurs liés aux habitudes alimentaires tels que la **gamme de l'aliment** utilisé, le **nombre de repas distribués chaque jour** ou encore le **type d'alimentation**. Notons cependant qu'une tendance est observée quant à un effet protecteur de l'alimentation de type humide par rapport aux croquettes ($p=0,0788$, seuil de significativité $0,0125$). Cette tendance a été observée à nouveau lorsque les rations ont été considérées selon leur **densité énergétique**, avec un effet protecteur non significatif lié au surpoids des rations de moins de $1750 \text{ kcal.kg}^{-1}$ par rapport aux rations de densité énergétique comprise entre 1750 et $3000 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ($p=0,0941$, seuil de significativité $0,0125$). En outre, lorsque la densité énergétique a été considérée, un effet protecteur lié au surpoids est apparu pour les rations de densité énergétique supérieure à 3500 kcal/kg par rapport aux rations de densité énergétique comprise entre 3000 et 3500 kcal/kg . Ces limites définissent respectivement les croquettes de haute et de faible densité énergétique, comme observé en figure 39.

Le cas des animaux ayant une **maladie diagnostiquée** est difficile à interpréter. En effet, lors de cette étude de type transversale, on ne peut décrire l'échantillon qu'à l'instant où les questionnaires sont recueillis et on n'a donc pas accès à la temporalité des événements. Par conséquent, on ne peut conclure quant à la cause et la conséquence. Dans le cas de l'arthrose par exemple, les résultats obtenus ne permettent pas de conclure si le surpoids favorise l'apparition d'arthrose ou si l'arthrose, en réduisant l'activité de l'animal, favorise le surpoids. En gardant cette limite en tête, on peut cependant conclure que le surpoids est étroitement lié aux affections articulaires de type dégénératives. De la même façon les autres affections considérées (autres qu'arthrose, dysplasie et insuffisance cardiaque) sont fortement liées aux insuffisances pondérales.

5. Discussion

Cette étude avait pour buts (a) de déterminer le besoin énergétique d'entretien des chiens de compagnie français adultes en bonne santé à partir d'un échantillon de 319 individus et (b) de déterminer les facteurs de risques liés au surpoids sur un échantillon étendu de 562 individus. Concernant le calcul des besoins énergétiques d'entretien, c'est la première étude réalisée sur ce sujet en France. C'est également l'étude faisant intervenir le plus gros

échantillon constitué exclusivement de chiens de compagnie pour ce calcul. Les besoins énergétiques d'entretien des chiens de cet échantillon se sont révélés proportionnels au poids élevé à la puissance 0,730 et à l'âge élevé à la puissance négative -0,0497. Sur la base de cette observation, les individus de l'échantillon ont un besoin énergétique moyen de $132 \pm 34,8 \text{ kcal.jour}^{-1}.\text{kg}^{-0,73}.\text{an}^{0,0497}$. La variabilité au sein de l'échantillon s'explique pour partie par les paramètres liés à la race, au statut stérilisé ou non, au tempérament, au mode de vie et au type d'aliment distribué.

Matériel et méthodes

Les différentes études publiées auparavant comportaient un nombre d'individus constituant l'échantillon analysé relativement faible (souvent une vingtaine). Cette observation est liée à l'apparition de biais, non quantifiables, car les modes d'échantillonnages n'étaient jamais précisés. Ainsi, une étude sur 20 Beagles de chenil posait la question des liens de parenté entre les individus, car ils pouvaient provenir d'un même élevage pour des raisons de commodité. La population à laquelle les résultats sont extrapolable se trouvait ainsi très limitée. D'autres études sur des animaux de compagnie, étudiant des échantillons contenant plusieurs races, n'évaluaient en général qu'un petit nombre d'individus ($n=14$ à 48) (Sunvold *et al.*, 2004). Or, un échantillon dont l'effectif est faible permet difficilement de conclure avec précision. En outre, lorsque la taille de l'échantillon était élevée se posait la question du mode d'acquisition des données et de leur traitement. Par exemple, Sunvold (2004) a réalisé une étude sur 173 chiens appartenant à des particuliers dans quatre états américains. Le besoin énergétique de tous les animaux a été calculé en début d'étude, puis les animaux ont été suivis pendant 10 semaines avec un ajustement bihebdomadaire de la ration. Au terme de l'étude, seuls 40 chiens ont présenté une variation pondérale de moins de 2,5% de leur poids initial. Ainsi, seuls ces chiens ont été considérés comme étant à leur équilibre énergétique. Par conséquent, l'équation proposée n'a été établie qu'à partir de 40 animaux, mettant en doute la généralisation possible du résultat à toute une population.

Dans notre étude, le mode d'échantillonnage via la participation obligatoire des étudiants vétérinaires, a permis d'obtenir un échantillon pour lequel les observations étaient objectives, sans avoir à passer par des clientèles de cliniques vétérinaires. On peut en effet supposer que réaliser un échantillonnage via des cliniques vétérinaires mènerait à une

surreprésentation de chiens malades, convalescents ou au contraire sains mais appartenant à des propriétaires particulièrement attentionnés et éduqués vis-à-vis de leur animal. Par ailleurs, les étudiants vétérinaires provenant d'une grande variété de régions françaises, ont permis un échantillonnage plus représentatif à l'échelle nationale.

Les animaux considérés pour cette étude étaient tous supposés à leur poids idéal et exempts de toute affection intercurrente. Cependant aucun examen clinique n'a été réalisé par un professionnel diplômé pour la détermination de la note d'état corporel ou pour exclure toute maladie. C'est en effet l'étudiant responsable du questionnaire, en concertation avec le propriétaire, qui devait déterminer le poids idéal de l'animal ainsi que juger de son état de santé.

La masse pondérale des animaux de l'échantillon n'a été mesurée qu'une unique fois par individu. L'absence de variation pondérale est un critère d'inclusion à l'étude, supposé respecté, mais non objectivé.

Les étudiants étaient les opérateurs dans cette étude : chacun était responsable de la série de données collectée sur l'animal étudié. Cela s'oppose à une étude où un unique opérateur aurait été responsable de toutes les données collectées. Ce mode de recueil des données a permis de s'affranchir d'un biais éventuel lié à un opérateur unique, qui aurait pu, par exemple, surévaluer le poids idéal de façon systématique. Par ailleurs, étant en formation pour la pratique de la médecine vétérinaire, leurs observations ont été considérées comme objectives. Cependant, la qualité des données s'est montrée dépendante de l'investissement personnel de chacun, en dépit de l'intérêt pour la discipline, pouvant varier d'un étudiant à l'autre. Ainsi certaines informations telles que le tempérament ou le mode de vie n'étaient souvent pas clairement renseignées sur les questionnaires.

Aucun individu n'a été exclu de l'étude parce qu'il présentait des besoins énergétiques exagérément élevés ou faibles, la variabilité interindividuelle a ainsi été considérée dans son ensemble sans biais de décision.

La variabilité inconstante au sein de l'échantillon a empêché la réalisation de l'étude sur la base d'un modèle paramétrique, pour lequel l'hypothèse d'homoscédasticité doit être vérifiée. Ainsi, les effets d'interaction entre les différents facteurs n'ont pas pu être étudiés. L'utilisation ici d'un modèle non paramétrique a cependant permis de s'affranchir des

hypothèses préalables indispensables dans le cas d'une étude sur la base d'un modèle paramétrique¹⁰, constituant des limites souvent ignorées lors d'études statistiques.

Birmingham (2014) a classé les chiens dans les catégories de races « miniatures », « moyennes », « grandes » ou « géantes ». Cette méthode ne prend à priori pas en compte les liens phylogéniques entre les différentes races. Il semble en effet très arbitraire de considérer dans le même groupe les Dogues allemands et les Terre-neuve, ces derniers étant plutôt apparentés aux Retrievers. Dans notre étude, afin d'éviter la création de groupes sur critères arbitraires, les regroupements d'individus selon leurs races, leurs statuts physiologiques ou leurs tempéraments ne l'ont été qu'après s'être assurés que de tels regroupements étaient acceptables par rapport à nos données, sur le plan alimentaire. Cela a par conséquent limité le nombre de conclusions apportées par l'étude.

Equation allométrique

L'estimation du poids métabolique des chiens génère un débat pour lequel aucun consensus n'a été établi à ce jour par la communauté scientifique. La plupart des auteurs considèrent comme acquis l'exposant proposé par Kleiber en 1961 de 0,75, lui-même dérivé de celui proposé par Brody en 1934 de 0,73. Par ailleurs, d'autres auteurs utilisent celui proposé par Heusner en 1982 de 0,67. Au bilan, peu d'entre eux ont calculé un exposant allométrique sur la base de leurs propres observations. Lorsque cela a été fait, l'exposant allométrique variait de 0,64 à 0,88 (Burger et Johnson, 1991 ; NRC, 1985). Cette variation peut s'expliquer par l'imprécision liée à la taille de l'échantillon considérée (Burger et Johnson ont étudié les besoins énergétiques de seulement 22 individus) ou encore au niveau d'activité des individus considérés. En effet la valeur de 0,64 a été calculée pour des animaux en chambre calorimétrique, donc au repos complet, alors que 0,88 correspond à des individus dont le niveau d'activité, bien que non précisé, ne pouvait qu'être supérieur. Dans ce sens les résultats ici obtenus, sur un échantillon de chiens strictement de compagnie, est à considérer avec précaution avant de l'extrapoler à d'autres populations.

¹⁰ Ces hypothèses sont les suivantes : homoscedasticité ou homogénéité des variances, normalité et indépendance des observations et des échantillons. Les tests paramétriques étant basés sur ces postulats, leur vérification préalable est indispensable pour l'interprétation.

Pour notre échantillon, le **poids métabolique** a été calculé égal au poids élevé à la puissance de 0,73 lorsque l'âge n'était pas pris en compte, ou lorsqu'il l'était en absence d'information sur les facteurs de correction, ce qui correspond précisément aux calculs réalisés par Brody (1934). Le retour de modèle prenant en compte les facteurs de variation du BEE calculés conclue quant à lui à un exposant de 0,74. L'exposant 0,75, proposé par Kleiber en 1961 pour des raisons de praticité de calcul, s'avère ainsi surestimer légèrement le poids métabolique. Notons que cet exposant n'a plus de raison valable d'être utilisé depuis l'avènement des méthodes de calcul moderne. Par ailleurs, la différence entre les exposants 0,73 et 0,75 conduit à une erreur de plus de 7% sur le besoin énergétique d'entretien d'un animal de 30 kg.

L'utilisation du modèle défini par $BEE = 124 \cdot P^{0,74} \cdot age^{-0,061}$ nécessite la connaissance de la race, du statut stérilisé (pour les femelles), de l'activité, du lieu de couchage et du type d'aliment utilisé. Lorsque tous ces paramètres sont connus c'est le modèle le plus précis ($r^2=0,836$). Cependant lorsque certains sont inconnus ou imprécis le modèle plus général défini par $BEE = \prod_i k_i \cdot 128 \cdot P^{0,73} \cdot age^{-0,050}$ reste le plus adapté ($r^2=0,817$). Notons cependant que ces deux modèles sont très similaires et ne diffèrent pas sensiblement dans l'estimation du BEE.

L'âge a été pris en compte pour cette étude de la même manière que le poids, de manière continue, sur le principe que les besoins énergétiques ne diminuent pas subitement à une date anniversaire. Le modèle proposé prend donc en compte l'âge élevé à une puissance négative, dans une équation allométrique similaire à celle proposée par Finke chez le chien (Finke, 1994) ou encore par Black chez l'humain (Black *et al.*, 1996).

Les modèles prenant en compte l'âge de l'animal définis par $BEE = 124 \cdot P^{0,74} \cdot age^{-0,061}$ ou $BEE = \prod_i k_i \cdot 128 \cdot P^{0,73} \cdot age^{-0,050}$ diffèrent peu du modèle sans prise en compte de l'âge défini par $BEE = 119 \cdot P^{0,73}$ ($r^2=0,813$). Ce dernier étant par ailleurs relativement similaire à celui proposé par le National Research Council, défini par $BEE = 132 \cdot P^{0,75}$ (NRC, 2006). Bien que la différence semble dérisoire, nourrir un chien de 5 ans comme un chien de 1 an, sans prendre en compte la diminution de ses besoins énergétiques, peut rapidement avoir des conséquences néfastes sur son état d'embonpoint (voir tableau 26). Si l'on compare le modèle ne prenant pas en compte l'âge de façon continue aux deux autres,

par exemple un chien de 5 ans pesant 30 kg on aboutit à une différence d'apport sur un an de 3,92 à 11,8 Mcal. Cela correspond à une prise de masse pondérale de 436 g à 1,31 kg.

Notons que si l'on compare notre équation à celle proposée par le NRC on atteint sur un an à un excès de 101 à 109 Mcal, correspondant à une prise de masse pondérale de plus de 11 kg. Cet exemple peut être mis en parallèle de la prévalence du surpoids en fonction de l'âge, qui dépasse les 40% à partir de 6-7ans.

Le tableau 26 compare le modèle de référence, proposé par le National Research Council en 2006, et le modèle proposé dans ce manuscrit. Les figures 44 et 45 représentent les trois modèles discutés dans cette étude, ainsi que les modèles fréquemment utilisés du NRC (2006), de Kronfeld (1991) et de la BSAVA (1996) pour deux échelles de poids différentes.

Tableau 26 : Comparaison du modèle décrivant le besoin énergétique d'entretien d'un chien adulte sain proposé avec celui du NRC (NRC, 2006) pour un chien de compagnie sans effet de race, mode de vie, activité ou type de ration (en kcal.jour⁻¹). Le chiffre entre parenthèse indique le pourcentage de différence entre les deux modèles.

		NRC	Manuscrit					
			Age (ans)					
			1	2	3	5	8	10
Poids idéal (kg)	1	132	128 (3,13%)	124 (6,76%)	121 (8,95%)	118 (11,8%)	115 (14,4%)	114 (15,7%)
	5	441	414 (6,50%)	400 (10,3%)	392 (12,5%)	382 (15,4%)	374 (18,2%)	369 (19,5%)
	10	742	687 (7,99%)	664 (11,8%)	651 (14,1%)	634 (17,0%)	620 (19,8%)	612 (21,2%)
	20	1250	1140 (9,49%)	1100 (13,4%)	1080 (15,7%)	1050 (18,7%)	1030 (21,5%)	1020 (22,9%)
	30	1690	1530 (10,4%)	1480 (14,3%)	1450 (16,6%)	1410 (19,6%)	1380 (22,5%)	1370 (23,9%)
	50	2482	2230 (11,5%)	2150 (15,5%)	2110 (17,8%)	2050 (20,9%)	2010 (23,7%)	1980 (25,1%)
	75	3360	2990 (12,4%)	2890 (16,4%)	2830 (18,8%)	2760 (21,8%)	2700 (24,7%)	2670 (26,1%)
	100	4170	3690 (13,1%)	3570 (17,1%)	3490 (19,5%)	3410 (22,5%)	3330 (25,5%)	3390 (26,9%)

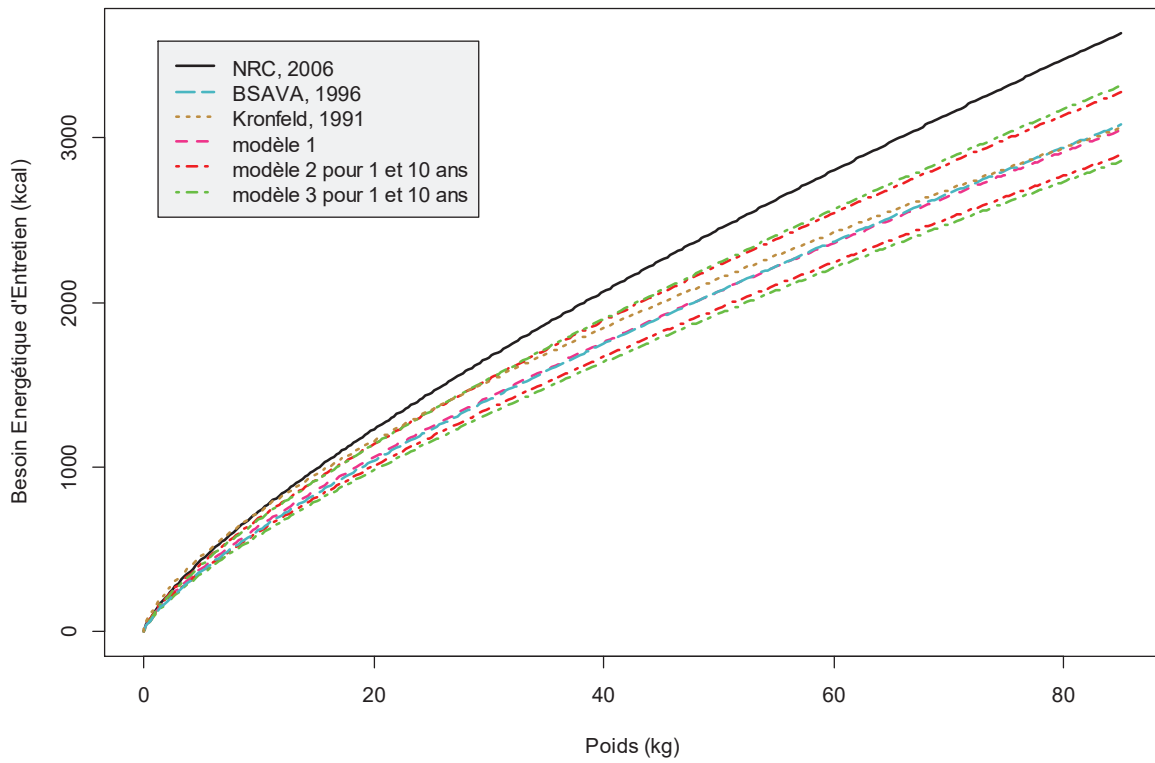


Figure 44 : Comparaison de modèles pour le calcul du besoin énergétique d'entretien d'un chien sain adulte entre 0 et 80kg. NRC, 2006 : $132 \cdot P^{0,75}$. BSAVA, 1996 : $110 \cdot P^{0,75}$. Kronfeld, 1991 : $156 \cdot P^{0,67}$. Modèle 1 : $119 \cdot P^{0,73}$. Modèle 2 : $128 \cdot P^{0,73} \cdot age^{-0,050}$. Modèle 3 : $124 \cdot P^{0,74} \cdot age^{-0,061}$ (tous $k_i=1$)

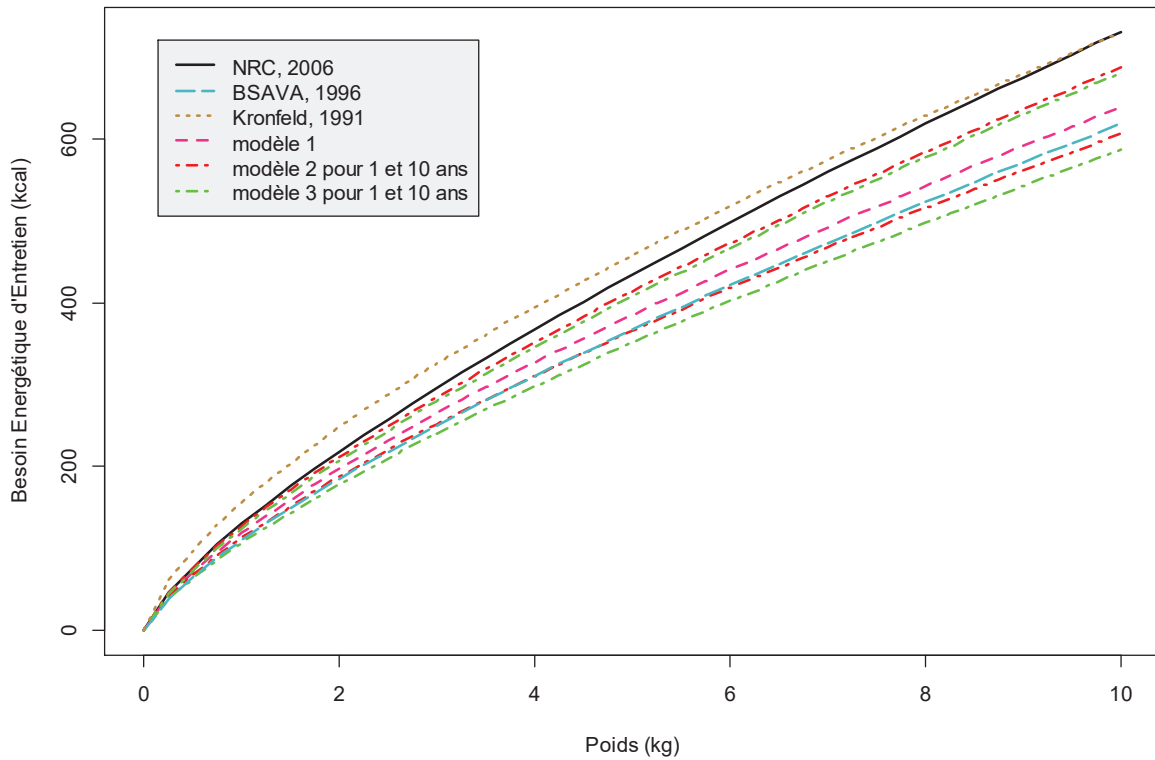


Figure 45 : Comparaison de modèles pour le calcul du besoin énergétique d'entretien d'un chien sain adulte entre 0 et 10kg. NRC, 2006 : $132 \cdot P^{0,75}$. BSAVA, 1996 : $110 \cdot P^{0,75}$. Kronfeld, 1991 : $156 \cdot P^{0,67}$. Modèle 1 : $119 \cdot P^{0,73}$. Modèle 2 : $128 \cdot P^{0,73} \cdot age^{-0,050}$. Modèle 3 : $124 \cdot P^{0,74} \cdot age^{-0,061}$ (tous $k_i=1$)

Notons que la prévalence du surpoids semble avoir tendance à stagner ou à diminuer lorsque l'âge dépasse les 13-14 ans (voir figure 34). Or, l'échantillon considéré ne comprend que peu d'individus de 14 ans ou plus (n=6), il est donc difficile de se prononcer quant aux besoins énergétiques des animaux dont l'âge est très avancé. **Ce modèle n'est donc vraisemblablement pas applicable pour les chiens très âgés.**

Par ailleurs comme il a été précédemment discuté, la différence entre les modèles ici calculés, prenant en compte l'âge de façon continue ou non, ne présentent pas une différence considérable, bien qu'importante. **Cependant, l'usage d'un tel modèle permet d'introduire, tant auprès des vétérinaires que des propriétaires, l'importance de reconsidérer en permanence la ration d'un animal et le fait qu'un calcul n'est pas valable pour une vie.**

Un effet de la **race** sur les besoins énergétiques d'entretien a été mis en évidence pour deux groupes de races : les Retrievers (Labrador et Golden) et certains Bergers (Berger belge et Beauceron) pour lesquels les besoins énergétiques étaient respectivement de 89% et 110% des besoins des autres races. La taille globale de l'échantillon, bien que conséquente, ne permet pas de conclure avec certitude pour les 74 autres races le constituant. Des tendances sont cependant observées pour les chiens de race Fox terrier, Berger allemand (consommant chacun en moyenne $139 \text{ kcal.jour}^{-1} \cdot \text{kg}^{-0,73} \cdot \text{an}^{0,0497}$ soit 108% du BEE moyen des autres chiens) et Yorkshire terrier (consommant en moyenne $123 \text{ kcal.jour}^{-1} \cdot \text{kg}^{-0,73} \cdot \text{an}^{0,049}$ soit 95% du BEE moyen des autres chiens). Les chiens de race Epagneul breton, Border collie et Berger des Pyrénées semblent en revanche avoir des besoins très similaires aux autres chiens. Il sera néanmoins nécessaire de continuer cette étude en augmentant les effectifs par race. Toutes les races qui ne sont pas citées ont un effectif trop faible pour interpréter d'éventuelles tendances. Il est très important de constater qu'il faut faire preuve d'une grande prudence pour généraliser les besoins d'une race à une autre. En effet, certaines races, de taille ou de morphotype identiques peuvent avoir des besoins énergétiques très différents. C'est ici le cas du Yorkshire terrier, dont les besoins semblent plus faibles que pour les autres chiens, et qu'il ne faut donc pas comparer au Fox terrier, dont les besoins semblent augmentés par rapport à la moyenne.

Un autre effet ayant été mis en évidence sur les besoins énergétiques est celui du statut **stérilisé ou non**. En effet, les femelles stérilisées avaient des besoins énergétiques

significativement moins élevés que les femelles entières, de 15%. Pour les mâles, cette tendance n'a pas été retrouvée : les mâles stérilisés consommaient $130 \pm 39,7 \text{ kcal.jour}^{-1} \cdot \text{kg}^{-0,73} \cdot \text{an}^{0,0497}$ et les mâles non stérilisés $130 \pm 25,4 \text{ kcal.jour}^{-1} \cdot \text{kg}^{-0,73} \cdot \text{an}^{0,0497}$.

Le **mode de vie** modifie également de façon significative les besoins énergétiques lorsque l'individu vit en extérieur strict, jour et nuit. Cela est à relier aux variations des besoins énergétiques avec la température ambiante (NRC, 2006 ; Finke, 1991 ; Ahlstrøm *et al.*, 2011). Ces résultats ne concernent que la France métropolitaine, et sont donc à considérer avec précaution avant de les extrapoler à une autre zone géographique. En effet, il est attendu que les besoins énergétiques soient majorés en région froide ou chaude en raison de la sollicitation des mécanismes de thermorégulation. Par ailleurs, l'effet race est probablement corrélé ou en interaction avec le mode de vie, comme l'a démontré Finke (1991). Son travail, conduit en Pennsylvanie, avait conclu à une différence de besoins énergétiques entre hiver et été pour les labradors ou les beagles mais pas pour les huskies (Finke, 1991).

Dans cette expérimentation, ne concernant que les chiens de compagnie, l'activité forcée, liée à la pratique d'une activité sportive par exemple, n'a pas été différenciée de l'activité spontanée. Seul le tempérament a été considéré, comme étant un mélange des deux types d'activités : un individu a été considéré comme actif quelle que soit l'origine de cette activité. Le **tempérament**, ainsi défini, influe sur les besoins énergétiques des chiens. En effet les chiens au tempérament qualifié d'**actif** ont des besoins significativement augmentés par rapport aux chiens normaux ou calmes.

Enfin, le **mode d'alimentation** semble influencer sur les besoins énergétiques. Bien que la gamme de l'aliment, le nombre de distributions par jour ou encore le type d'aliment ne modifient pas significativement les apports nécessaires, ce n'est pas le cas du type d'alimentation. En effet, les animaux nourris avec une ration complexe constituée d'un ou plusieurs aliments industriels et d'un ou plusieurs produits destinés à la consommation humaine ont des besoins significativement augmentés. Les animaux consommant ce type de ration (n=15) consomment un mélange d'aliment industriel et de riz cuit (n=12), de pâtes (n=4), de semoule (n=1) et/ou de légumes verts (n=12). Ainsi ce phénomène peut s'expliquer par la diminution de la digestibilité par insuffisance de cuisson des féculents et/ou par augmentation importante de la teneur en fibres de la ration. En effet, les dépenses énergétiques liés à la thermogénèse alimentaire augmentent avec la teneur en fibres des aliments (Birmingham *et*

al., 2014). Une autre hypothèse pour expliquer cette différence, réside dans l'utilisation des coefficients d'Atwater, qui pourraient surestimer l'apport énergétique par les aliments destinés à la consommation humaine chez les chiens. Enfin, on peut se questionner sur les causes de la démarche amenant à réaliser ce type de ration pour son animal et ainsi sur la qualité des denrées utilisées dans le mélange : si la démarche est économique, on peut s'attendre à ce que la qualité des matières premières ajoutées ne soit pas idéale.

Par ailleurs, une tendance apparaît concernant le type d'aliment utilisé : les animaux nourris avec une alimentation industrielle humide, consommant $103 \pm 34,4 \text{ kcal.jour}^{-1} \cdot \text{kg}^{-0,73} \cdot \text{an}^{0,0497}$, ont des besoins moindres que les individus nourris avec une alimentation industrielle sèche ($p=5,63 \cdot 10^{-3}$, seuil de significativité $5 \cdot 10^{-3}$). Cette différence, bien que statistiquement non significative, peut traduire plusieurs phénomènes. Premièrement l'utilisation des coefficients d'Atwater modifiés (3,5 – 3,5 – 8,5) pour le calcul des apports énergétiques n'est peut-être pas adaptée aux aliments industriels humides, subissant des processus différenciés de ceux subits par les aliments secs. Dans ce cas, les apports réels auraient été surestimés pour la population de chiens nourris avec un aliment industriel de type humide. Par ailleurs les besoins énergétiques liés à la thermogénèse alimentaire, c'est-à-dire à l'énergie requise par la digestion, peuvent être amoindris par la texture même des aliments humides. Enfin les chiens alimentés avec ce type d'aliment sont, lorsque comparés avec les chiens nourris avec des croquettes, plus petits ($13,1 \pm 7,36 \text{ kg}$ contre $24,5 \pm 13,5 \text{ kg}$), plus âgés ($8,12 \pm 3,6 \text{ ans}$ contre $4,45 \pm 3,10 \text{ ans}$) et aucun d'eux ne passe la nuit en extérieur. Ces informations traduisent des modes de vie sensiblement différents, pouvant expliquer au moins pour partie la variabilité observée entre les deux groupes.

Extrapolation des résultats

La méta-analyse de Bermingham (2014) montre qu'il existe au moins 102 publications étudiant les besoins énergétiques d'entretien du chien. Les études statistiques réalisées dans ces dernières sont de type inférentiel, c'est-à-dire qu'elles cherchent à extrapoler à une population des conclusions tirées de mesures réalisées sur un échantillon. Une limite souvent rencontrée dans ces études est le type de population à laquelle l'équation obtenue est extrapolable.

En parcourant la littérature sur le sujet, on constate qu'il existe autant d'équations que d'auteurs voire même que d'études. Ceci est inhérent au fait que chaque étude a été réalisée sur un échantillon et n'est donc extrapolable qu'à une population donnée, qui ne correspond jamais à la population « ensemble des chiens de la planète ». Les chiens, dans leur ensemble, étaient soumis à des environnements très différents. Or nous avons vu précédemment que la température ambiante avait une influence sur les besoins énergétiques des animaux. Aussi, il n'est pas étonnant qu'une étude finnoise conclue différemment d'une étude brésilienne. Ceci met en évidence une limite peu évoquée par les auteurs cherchant à généraliser leur étude à des continents entiers. Par exemple, dans un souci de représentativité, Sunvold (2004) a réalisé une étude sur des animaux provenant tant du Texas que de l'état de Washington sans prendre en compte les différences climatiques entre ces deux états, différences qui sont indéniables. Le même problème se pose quant aux variations saisonnières du besoin énergétique, quant à la période et à la durée pendant lesquelles le besoin énergétique est mesuré.

Dans le passé, la plupart des études sur les besoins énergétiques ont été réalisées sur des animaux de course ou en chenil (Bermingham *et al.*, 2014). Les besoins énergétiques de chiens de traîneaux (Loftus *et al.*, 2014) ou de greyhounds de course ne sont évidemment pas extrapolables à ceux des animaux de compagnie. De même, les études réalisées sur des animaux en chenil pourraient sensiblement surestimer les besoins des animaux de compagnie. En effet, le niveau d'activité global d'un chien de chenil, même maintenu dans des conditions de thermoneutralité est substantiellement plus élevé que pour des chiens de taille et d'âge similaire vivant dans des domiciles particuliers (Sunvold *et al.*, 2004). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les chiens de chenil sont généralement logés avec un grand nombre d'autres animaux, que les épisodes de jeu ou d'excitation sont fréquents et que les animaux subissent un stress associé au chenil lui-même. Par ailleurs, le chien, étant un animal social, a une vie plus riche lorsqu'il est maintenu en communauté. En comparaison, la plupart des chiens de compagnie sont soumis à une routine quotidienne stable et à des niveaux d'activité faibles à modérés. Par conséquent, les équations de besoins énergétiques et les conseils d'experts issus d'études sur les chiens en chenil semblent surestimer les besoins de la plupart des chiens vivant chez des particuliers (Bermingham *et al.*, 2014 ; Sunvold *et al.*, 2004).

Certains travaux, dont ceux de Serisier (2013), posent la question de l'influence de l'état de santé présent ou passé sur le BEE : ses travaux ont en effet démontré que les chiens de compagnie anciennement en surpoids avaient un BEE diminué par rapport aux chiens ayant

toujours eu un état d'embonpoint idéal. Le mode d'échantillonnage de notre étude ne faisait pas la différence entre ces deux populations, par conséquent cet effet n'a pas pu être étudié. L'utilisation d'un modèle, quel qu'il soit, pour le calcul du BEE, doit être réalisée en considérant cette limite pour les individus anciennement en surpoids.

Ainsi notre étude, réalisée sur des chiens de compagnie français adultes et sains, n'est généralisable qu'à cette même population.

Facteurs de risques liés au surpoids

Dans le cadre de cette étude, dont un des objectifs était d'améliorer l'étendue des connaissances sur la prévention du surpoids, la détermination des facteurs de risque a constitué une approche à la fois différente et complémentaire à la détermination de l'équation allométrique. Bien que cette approche ne permette pas une prise en compte « chiffrée » de l'effet d'un facteur sur le BEE, elle a pu permettre d'étayer les conclusions sur l'effet de certains facteurs mais également d'observer des effets significatifs ou des tendances pour certains facteurs dont l'influence n'avait pas été mise en évidence avec l'approche précédente. En outre cette approche a permis l'utilisation de l'échantillon total de n=562 individus, augmentant l'effectif par facteurs et par niveaux, et donc la puissance des tests statistiques.

Sans surprise, les facteurs diminuant les besoins énergétiques d'entretien sont souvent des facteurs de risque concernant le surpoids. Cela traduit directement le manque d'adaptation des rations aux particularités propres à chaque individu. Ainsi la race est à la fois facteur de modification du besoin énergétique et facteur de risque, de même que le statut sexuel, l'âge et le niveau d'activité.

Les animaux appartenant à des étudiants vétérinaires, par définition éduqués et attentifs vis-à-vis des besoins de leurs animaux, sont significativement moins souvent obèses que les animaux appartenant au reste de la population. Ces résultats peuvent suggérer la question du niveau d'éducation des propriétaires vis-à-vis de l'alimentation canine, et par conséquent la qualité de l'information disponible, notamment sur les paquets d'aliments, qui ne prodiguent guère d'informations sur la variabilité interindividuelle.

Outre les facteurs de risque cette étude a permis de mettre en évidence certains facteurs protecteurs associés au surpoids, tels que les chiens de race croisée, les chiens ayant

un niveau d'activité élevé, ainsi que les chiens consommant une ration dont la densité énergétique est supérieure à 3500 kcal/kg.

Ce résultat surprenant peut s'expliquer en partie par le fait que les chiens nourris avec une ration à haute teneur énergétique ont environ deux fois plus de chance d'appartenir à un étudiant vétérinaire qu'à une autre personne (OR=1,92, IC95%=[1,22 ; 3,04], $p=4,54.10^{-3}$). Or l'appartenance à un étudiant vétérinaire est également un facteur protecteur vis-à-vis du surpoids. Ces deux résultats, non indépendants, sont donc à considérer avec précaution car ils peuvent être exclusifs l'un de l'autre ou coexistant, sans que nous soyons en mesure de conclure sur ce point. Ce résultat témoigne d'une limite de la section concernant l'analyse des facteurs de risque, inhérente à la méthode employée. En effet ne sont ici pas pris en compte d'éventuels effets d'interaction entre les différents facteurs étudiés.

Une tendance est observée également sur un éventuel effet protecteur vis-à-vis du surpoids d'une ration à faible densité énergétique, ou humide. Ce résultat, bien que non statistiquement significatif, est sans doute en partie causé par un effet satiétogène accru d'une ration à faible densité énergétique : pour consommer la même quantité d'énergie l'animal doit consommer plus d'aliment.

Par ailleurs les points sur lesquels cette section n'a pas été en mesure de conclure sont à considérer avec précaution. En effet certains effectifs au sein d'un groupe étaient trop faibles pour permettre la mise en évidence de facteurs de risque. Par exemple les individus nourris avec une alimentation humide ne sont que 18, ce qui a pour conséquence d'élargir considérablement l'intervalle de confiance de l'odds-ratio, et empêche de conclure avec un risque acceptable.

Objectifs à long terme

Cette étude a pour objectif d'être poursuivie. Les résultats qu'elle expose laissent entrevoir la possibilité de mettre en évidence un grand nombre de facteurs influençant les besoins énergétiques d'entretien des chiens de compagnie français. La méthodologie employée permet d'obtenir un échantillon de taille suffisante pour mettre en évidence les facteurs de variation malgré la forte variabilité interindividuelle qui existe dans l'espèce canine.

Suite à ce travail, le questionnaire destiné aux étudiants a été revisité afin d'obtenir des informations plus aisément exploitables (modèle proposé en annexe 3). Elle prendra notamment en compte le temps et le type d'exercice quotidien, le nombre d'animaux dans le foyer et le type de foyer (appartement ou maison individuelle) afin de limiter les inconnues et donc les limites des résultats.

Conclusion

L'étude expérimentale réalisée montre que le chien de compagnie français a des besoins énergétiques qui varient sensiblement par rapport aux informations disponibles, notamment par rapport à l'avis d'expert faisant aujourd'hui office de référence en nutrition canine, mis en place par le National Research Council en 2006.

Cela est d'autant plus vrai lorsque l'âge du chien avance. En effet les besoins énergétiques diminuent avec l'âge, chez le chien comme chez l'Homme.

Ainsi, nourrir un chien de 5 ans comme lorsqu'il avait 1 an, aura pour conséquence une prise de poids et ce même en suivant scrupuleusement les informations disponibles sur les emballages d'aliment. Cela se traduit en France comme aux Etats-Unis ou en Australie, par une prévalence du surpoids qui atteint 40% chez les chiens d'âge moyen.

De plus, les facteurs de variation concernant les besoins énergétiques sont nombreux et souvent ignorés, comme le montre la prévalence du surpoids, augmentant significativement lorsque ces facteurs individuels sont présents. Il est à espérer que dans le futur, les industries agroalimentaires produisant les aliments pour animaux domestiques prendront en compte cette variabilité et communiqueront en ce sens avec les propriétaires. De la même manière la question de la ration alimentaire devrait systématiquement être abordée et documentée pour chaque client dans tous les cabinets vétérinaires, et cela plusieurs fois au cours de la vie de l'animal. L'évolution de la masse pondérale mais aussi de la note d'état corporel de chaque individu devrait être suivie de près et comparée à tous les relevés réalisés lors de la vie de l'individu, afin de prodiguer les conseils le plus pertinents possibles.

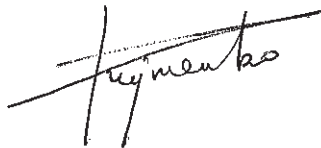
Cette étude propose une équation allométrique prenant en compte l'âge et le poids du chien, afin de calculer ses besoins énergétiques d'entretien. Par ailleurs des variations sont à considérer pour les chiens de certaines races, pour certains modes de vie et certains tempéraments. Cependant, quelle que soit la raison de la variabilité dans l'estimation des besoins énergétiques des chiens de compagnie, il faut faire preuve de prudence quant à l'utilisation de cette ou d'une quelconque autre équation allométrique pour prédire les besoins énergétiques. Ainsi une équation, aussi précise soit-elle ne remplace pas l'expertise d'un professionnel dévoué à l'amélioration de la qualité de vie des chiens de compagnie.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Nathalie PRIYMENKO, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **DIVOL Guilhem** intitulée « **Contribution à l'étude du besoin énergétique chez le chien : étude expérimentale.**» et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

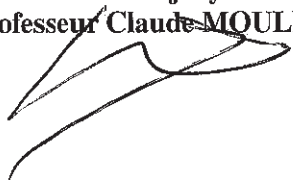
Fait à Toulouse, le 28 mai 2015
Docteur Nathalie PRIYMENKO
Enseignant chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN



Vu : le 1^{er} juin 2016
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 Paul Sabatier
par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine ANDRE-ORRECHT

Conformément à l'Arrêté du 20 avril 2007, article 6, la soutenance de la thèse ne peut être autorisée qu'après validation de l'année d'approfondissement.

Bibliographie

- Ahlstrøm Ø, Redman P et Speakman J (2011) Energy expenditure and water turnover in hunting dogs in winter conditions. *British Journal of Nutrition*, **106**, S158-S161.
- Andersen G L et Lewis L D (1980) Obesity. In : Current Veterinary Therapy VII. Kirk, Philadelphia : W. B. Saunders. pp 1034-1039. ISBN 13 : 9780721654713.
- ANSES. Anses table Ciqual 2013 composition nutritionnelle des aliments. Disponible sur : <https://pro.anses.fr/tableciqual/index.htm> (consulté le 15/11/2015).
- Birmingham E N, Thomas D G, Cave N J, Morris P J, Butterwick R F et German A J (2014) Energy Requirements of Adult Dogs: A Meta-Analysis. *PLOS ONE*, **volume 9** issue 10 e109681.
- Black A E, Coward W A, Cole T J et Prentice A M (1996) Human energy expenditure in affluent societies : an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition*. **50**. 72-92.
- Blanchard G (2008) Le chien à l'entretien ou le chien adulte « qui va bien ». In *L'alimentation des chiens*. Tours, France : Editions France Agricole. P18-33. ISBN 13 : 978-2-85557-157-7.
- Burger I H et Johnson J V (1991) Dogs Large and Small: The Allometry of Energy Requirements within a Single Species. In *Waltham International Symposium on Nutrition of Small Companion Animals*, Septembre 1990. Waltham Centre for Pet Nutrition, Royaume-Uni, S18-S21.
- Burger I H (1994) Energy needs of companion animals: Matching foods intakes to requirements throughout the life cycle. *Journal of Nutrition*, 2584S-2593S.
- Case L P (2011) Energy and Water. In *Canine and Feline NUTRITION*. 3^{ème} édition. Etats-Unis d'Amérique : Elsevier. p3-11. ISBN 978-0-323-06619-8.
- Donoghue S, Khoo L, Glickman L T et Kronfield D S (1991) Body condition and diet of relatively healthy older dogs. *Journal of Nutrition*, **121**, S58-S59.
- Edney A T B et Smith P M (1986) study of obesity in dogs visiting veterinary practices in the United Kingdom. *Veterinary Record*, **118**, 391-396.
- Fettman M J, Stanton C A, Banks L L, Hamar D W, Johnson D E, Hegstad R L et Johnston S (1997) Effects of neutering on body weight, metabolic rate and glucose tolerance of domestic cats. *Research in Veterinary Science*, **62**, 131-136.

Finke M D (1991) Evaluation of the energy requirements of adult kennel dogs. *Journal of Nutrition*, **121**, s22-28.

Finke M D (1994) Energy Requirements of Adult Female Beagles. In *Waltham Symposium on the Nutrition of Companion Animals in association with the 15th International Congress of Nutrition at Adelaide, Australia*. ALPO Pet Center, Pennsylvanie, Etats-Unis d'Amérique. *Journal of Nutrition*, 2604S-2608S.

Glickman L T, Sonnenschein E G, Glickman N W, Donoghue S et Goldschmidt M H (1995) Pattern of diet and obesity in female adult pet dogs. *Veterinary Clinical Nutrition*, **1**, 6-13

Hammel H T, Wyndham C H et Hardy J D (1958) Heat production and Heat Loss in the Dog at 8-36°C Environmental Temperature. *American Journal of Physiology*, **194(1)**, 99-108

Heusner A A (1982) Energy metabolism and body size. Is the 0.75 mass exponent of Kleiber's equation a statistical artifact? *Respiration Physiology*, **48**, 1-12.

Hill R C et Scott K C (2004) Energy requirements and body surface area of cats and dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **225**, 689-694.

Kealy R D, Lawler D F, Ballam J M, Mantz S L, Biery D N, Greeley E H, Lust G, Segre G, Smith G K et Stowe H D (2002) Effects of diet restriction on life span and age-related changes in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **330**, 1315-1320.

Kelly N C (1996) Basic Principles of Nutrition and Feeding. In *BSAVA Manual of Companion Animal Nutrition & Feeding*. First Edition. Shurdington, Cheltenham, Gloucestershire, Grande Bretagne : British Small Animal Veterinary Association. p10-21. ISBN 0 905214 34 X

Kienzle E et Rainbird A (1991) Maintenance Energy Requirement of Dogs : What is the Correct Value for the Calculation of Metabolic Body Weight in Dogs ? *Journal of Nutrition*, **121**, S39-S40.

Loftus J P, Yazwinski M, Milizio J G et Wakshlag J J (2014) Energy requirements for racing endurance sled dogs. *Journal of Nutrition science*. **31** doi:10.1017

Lund E M, Armstrong P J, Kirk C A et Klausner J S (2006) Prevalence and Risk factors for Obesity un Adult Dogs from Private US Veterinary Practices. *Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, **4**, 177-186.

Mason E (1970) Obesity in pet dogs. *Veterinary Record*, **86**, 612-616

McGreevy P D, Thomson P C, Pride C, Fawcett A, Grassi T et Jones B (2005) Prevalence of obesity in dogs examined by Australian veterinary practices and the risk factors involved. *Veterinary Record*, **156**, 695-702.

Mitsuhashi Y, Chamberlin A J, Bigley K E, Bauer J E (2011) *Maintenance energy requirement determination of cats after spaying*. *British Journal of Nutrition*, **106**, S135-S138.

Mullis R A, Witzel A L et Price J (2015) Maintenance energy requirement of odor detection, explosive detection and human detection working dogs. *PeerJ*, **3:e767**; DOI [10.7717/peerj.767](https://doi.org/10.7717/peerj.767)

National Research Council (1985) Energy. In : *Nutrient requirements of dogs*. Washington DC : national academic press. P2-5. ISBN 0-309-03496-5

National Research Council (2006) Energy. In : *Nutrient requirements of dogs and cats*. Washington DC : national academic press. P22-48. ISBN 978-0-309-08628-8

Robertson I D (2003) The association of exercise, diet and other factors with owner-perceived obesity in privately owned dogs from the metropolitan Perth, Western Australia. *Preventive Veterinary Medicine*, **58**, 75-83.

Serisier S, Weber M, Feugier A, Fardet M-O, Garnier F, Biourge V et German A J (2013) Maintenance energy requirements in miniature colony dogs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **97**, 60-67.

SOUCI S W (2008) *Food composition and nutrition tables*. 7^{ème} édition. Beck, Nördlingen, Allemagne : Deutsche Nationalbibliothek. 1366p, ISBN 978-3-8047-5038-8.

Sunvold G, Norton S, Carey D, Hirakawa D et Case (2004) Feeding Practices of Pet Dogs and Determination of an Allometric Feeding Equation. *Veterinary Therapeutics*. **5**, 82-99.

Annexe 1 : questionnaire utilisé pour la constitution de l'échantillon

Nom de l'étudiant :

Groupe :

Date

Nom de l'animal :

Propriétaire (et lien avec l'étudiant) :

Mode de vie :

Espèce :

Tempérament :

Race :

Etat physiologique :

Sexe :

Pathologie particulière : oui non

Age : si oui, précisez et indication de traitement médicamenteux :

Etat corporel ou BCS (sur 9) :

Poids actuel:

Poids idéal (estimé) + poids adulte estimé:

1) Alimentation distribuée (à priori):

Nombre de repas :

Quantité distribuée (par jour) :

Aliment composé complet: préciser le nom complet, la marque, le packaging et le lieu d'achat (grand public, animalerie, réseau vétérinaire) et tous les éléments de composition chimique inscrits sur le sac (amener l'étiquette si possible et l'AGRAPHER).

Si autre type d'alimentation : donner tous les éléments nécessaires au contrôle de la ration.

Si alimentation **à volonté, le préciser** et estimer la quantité moyenne consommée (nombre de jours pour finir le sac)

2) Vérification de la ration :

Calculs des besoins: énergie (**sans aucun facteur de corrections svp**), PB, Ca, P

Quel est le k de votre animal (Comparaison entre les apports recommandés et ce qui est distribué).

3) Conclusion

Annexe 2 : Résultats des tests de Bartlett (H_0 = les variances entre les groupes ne sont pas homogènes)

Tableau i : P-values des tests de Bartlett en fonction du facteur considéré

Facteur	P-value
Lien animal-étudiant	$5.572 \cdot 10^{-3}$
Race (pour $n \geq 8$)	$2.031 \cdot 10^{-3}$
Statut physiologique	$9.915 \cdot 10^{-3}$
Mode de vie	0.02115
Tempérament	$3.97 \cdot 10^{-4}$
Type d'aliment	$6.073 \cdot 10^{-7}$
Gamme de l'aliment	$3.092 \cdot 10^{-10}$

Annexe 3 : Proposition d'un nouveau questionnaire pour l'acquisition des données

Nom de l'étudiant :

Date :

Groupe :

Signalement

Espèce : Chien Chat
Furet Autre

Nom de l'animal :

Age :

Race :

Propriétaire : Moi-même
Parents
Autre étudiant vétérinaire
Famille non père/mère
Autre (préciser)

Sexe : Mâle Femelle

Poids actuel :

Poids idéal (ou poids adulte) :

Note d'état corporel (sur 9) :

Statut physiologique : Stérilisé
Non stérilisé
Ne sait pas

Tempérament : Calme
Normal
Actif
Ne sait pas

Lieu de couchage : Extérieur
Intérieur
Ne sait pas

Activité sportive (estimer nombre d'heures

par jour) : Promenade :

Jogging :

Chasse :

Autre (préciser) :

Anamnèse - commémoratifs

Symptomatologie (cocher si présent) :

- Polyurie/polydypsie :
- Polyphagie :
- Diarrhée chronique :
- Vomissements chroniques :
- Alopecie - prurit - erythème cutané :
- Boiterie

Maladie(s) : oui non

Si oui, préciser diagnostic(s) :

Traitement : oui non

Si oui, préciser posologie et fréquence
d'administration :

Alimentation

Type d'alimentation : Industriel sec
Industriel humide
Ration ménagère

Marque de l'aliment :

Nom de l'aliment :

Packaging :

Lieu d'achat :

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Nombre de repas par jour :

1 2 3 4 *ad libidum*

Quantité totale distribuée par jour (en
grammes) :

Attention : l'animal étudié doit avoir un poids et une alimentation constants depuis au moins un mois

Pièces à fournir : Une photographie une photocopie, ou la partie du paquet comprenant la constitution analytique de l'aliment.

Pour les rations ménagères : Lister tous les ingrédients constituant la ration.

Aliment 1

Nom de l'aliment :

Quantité

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Aliment 4

Nom de l'aliment :

Quantité

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Aliment 2

Nom de l'aliment :

Quantité

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Aliment 5

Nom de l'aliment :

Quantité

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Aliment 3

Nom de l'aliment :

Quantité

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Aliment 6

Nom de l'aliment :

Quantité

Composition (en %) :

PB	MG	ENA	Cel	H ₂ O	Mx	Ca	P

Vérification de la ration :

- Calculs des besoins: énergie (**sans aucun facteur de corrections svp**), PB (calculer RPC de l'aliment et comparer aux recommandations), Ca/P
- Quel est le k de l'animal étudié ? $k = \frac{\text{Apports}}{BEE_{théoriques}}$

Conclusion

Toulouse 2016

NOM : DIVOL

Prénom : Guilhem

TITRE : Contribution à l'étude du besoin énergétique chez le chien : étude expérimentale

RESUME : Ce travail est une étude expérimentale ayant pour but : (a) de déterminer le besoin énergétique d'entretien de chiens de compagnie français, adultes et en bonne santé, et (b) de déterminer les facteurs de risques liés au surpoids à partir d'un échantillon de 562 individus indépendants. L'originalité de cette étude est de porter exclusivement sur les chiens de compagnie. Le besoin énergétique d'entretien des chiens de cet échantillon est proportionnel au poids idéal élevé à la puissance 0,74 et à l'âge élevé à la puissance -0,061, montrant l'effet continu de l'âge chez le chien, comme c'est le cas chez l'homme. Les facteurs de variations du besoin énergétique individuel sont en lien avec la race, le statut stérilisé ou non, le tempérament, le mode de vie et le type d'aliment distribué.

MOTS-CLES : besoins énergétiques d'entretien, chien, chien de compagnie, équation allométrique, exposant allométrique, surpoids, facteurs de risque

ENGLISH TITLE: Contribution to the study of the energy requirements of pet dog: experimental study

ABSTRACT: This work is an experimental study which aims: (a) to determine the maintenance energy requirements of French, adult, healthy pet dogs and (b) to determine the risk factors linked to overweight from a sample of 562 independant individuals. The originality of this study is to focus only on pet dogs. Maintenance energy requirements of dogs from this sample is proportional to both the weight raised to power 0.74 and the age raised to power -0.061, pointing out the continuous effect of the age in dog, such as in human nutrition. The individual variation factors of the maintenance energy requirements are linked with the breed, the neutered status, the temper, the bedding location and the sort of food used.

KEYWORDS: maintenance energy requirement, dogs, pet dogs, allometric equation, allometric exponent, overweight, risk factors