

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة حسيبة بن بوعلي

UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI – CHLEF

معهد العلوم الزراعية

INSTITUT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Magister

Spécialité : Comportement Alimentaire et Nutrition Animale

Présenté et soutenu publiquement par

CHAIEB EDDRAA Ahmed

Le 19/06/2013

Effet de la supplémentation protéique dans l'alimentation sur la prise alimentaire et la composition corporelle chez le lapin

Jury

Président :	DILMI-BOURAS Abdelkader	(Professeur a UHB Chlef)
Examineurs :	BERCHICHE Mokrane	(Professeur a Université Tizi-Ouzou)
	AICHOUNI Ahmed	(MCA a Université de Chlef)
Encadreur :	BENSAID Ahmed	(MCA a Université de Chlef)

Année universitaire 2012-2013

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

-Mes parents-

*Pour m'avoir soutenu tout au long de ces innombrables années d'études malgré
mes sauts d'humeur,*

*Pour m'avoir donné le goût de l'effort et m'avoir permis d'arriver jusqu'ici,
Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma reconnaissance de ma gratitude et de
mon affection.*

Karima, Iman, Yacine, Hassan

A ma femme et (mon fils)

*Pour son Amour, sa patience, j'espère que mon mémoire sera notre beau cadeau
de rencontre.*

A toute ma belle Famille

Ami Ounis, Lila, Chaouki, Faouzi, Saousen, Rym et Titta.

A tous mes Amis de la faculté

Sami, Abd Allah, Sid Ahmed, Lahssan, Houcin, Aziz, Kamel

*A tous ces bons moments que nous avons partagés ensemble, En espérant qu'ils
seront encore aussi meilleurs à l'avenir.*

Remerciements

A Monsieur le Professeur DILMI-BOURAS A.

Qui m'a fait l'honneur de présider notre jury de thèse

Hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur BENSALD A.

Qui m'a encadré dans ce travail.

Pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa rigueur dans le travail.

Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

A Monsieur le Professeur BERCHICHE M.

Professeur à l'université de Tizi-Ouzou,

Pour sa gentillesse, pour l'aimable attention qu'il a bien voulu me prêter pour la réalisation de cet humble travail et pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce Jury de thèse.

Qu'il trouve ici mon vif témoignage accompagné de mes sincères remerciements, hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur AICHOUNI A.

Qui a aimablement accepté d'examiner mon travail et d'être membre de ce jury de thèse.

Hommages respectueux.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réalisation de ces travaux :

- Monsieur BELHADIA Mohamed pour le temps consacré et les discussions.*
- Monsieur SAIDI Jamel pour son soutien morale durant toute ma période d'étude.*
- Monsieur ABABOU pour son aide sur la partie bio-statistique de ce travail.*

Résumé

Il a été rapporté, chez l'homme et chez les animaux tels que le rat et la souris que parmi les macronutriments, les protéines exercent le pouvoir satiétogène le plus élevé. L'objectif de ce travail est de caractériser l'effet des protéines du lactosérum (PLS) sur la prise énergétique et sur l'adiposité chez les lapins.

Pour cela, des lapins mâles et femelles ont reçu, par voie buccale, respectivement, une charge contenant 0 (eau), 1,5 et 3 g de PLS, avant la présentation de l'aliment standard, pendant 29 jours. La mesure de la prise alimentaire a été effectuée, 1 heure et 24 heures suivant la présentation de l'aliment standard. Le poids corporel a été relevé toutes les semaines. A la fin de l'expérience, tous les lapins ont été abattus et la composition corporelle étudiée.

Nos résultats ont montré que la prise de la charge protéique induit une dépression de la prise alimentaire une heure suivant la présentation de l'aliment standard chez les lapins des deux sexes. Toutefois, cette baisse est compensée en 24 heures, chez les femelles est surcompensée chez les mâles. Cet effet disparaît chez les mâles et persiste chez les femelles en fin d'expérience.

Ainsi, les charges de protéines de lactosérum utilisées ne semblent pas induire un effet satiétogène chez les lapins.

Les consommations énergétiques moyennes des lapins mâles, ayant reçu les charges P1 et P2 sont significativement plus élevées que celles des femelles mais ne donnent aucune différence significative ni dans le poids corporel/TAB ni dans la masse maigre, sauf que des tendances chez les mâles à accumuler plus de tissu adipeux périrénal tout en augmentant la concentration en protéine de la charge contrairement aux femelles où cette accumulation diminue tout en augmentant la charge.

Mots clés : satiété ; lapin ; prise alimentaire ; charge protéique ; adiposité.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques structurales des principales protéines du lait.	20
Tableau 2 : Ingestion, croissance et efficacité alimentaire du lapin domestique sevré.	30
Tableau 3. Comparaison de la composition des crottes dure et des cæcotrophes du lapin.	32
Tableau 4. Composition de l'aliment standard.....	40
Tableau 5. La composition des charges protéiques P1 et P2.....	41
Tableau 6 . Prise énergétique cumulée, gain de poids et efficacité énergétique dans les groupes témoins, P1 et P2, chez les lapins mâles et femelles.	53
Tableau 7 . Carcasse, TAB et indice d'adiposité dans les groupes témoin, P1 et P2, chez les lapins mâles et femelles.	56
Tableau 8. Le poids corporel et le poids des organes (par 100g de PAA) chez les lapins mâles et femelles, témoins et ceux ayant reçu les charges P1 et P2 après 30 jours d'expérience.....	56
Tableau 9. Poids des différents paramètres de la carcasse chez les males.	69
Tableau 10. Poids des différents paramètres de la carcasse chez les femelles.....	70

Liste des figures

Figure 1. Modèle général de l'homéostasie des acides aminés (Boutry et al., 2008)	17
Figure 2. Anatomie générale du tube digestif du lapin (Valeurs moyennes pour un lapin néo-zélandais blanc de 2,5kg (Lebas et al., 1997).....	24
Figure 3 . Volume digestifs de différentes espèces animales d'après (Cheek, 1987) (revue dans Lebas, 1989).....	25
Figure 4. Morphologie du cæcum du lapin. D'après Barone et al. (1973) revue dans (Michelland, 2009)	25
Figure 5. Représentation schématique du côlon du lapin A = ampoule cæcale, C = cæcum; D'après Snipes et al. (1982) revue dans (Michelland, 2009).....	26
Figure 6. Proportion de tissus osseux, musculaire et adipeux dans les 3 morceaux de découpe d'une carcasse de 1285 g (Ohayoun, 1989)	28
Figure 7. Ingestion et croissance chez le lapin, entre le sevrage (28j.) et l'âge adulte. Données pour le lapin domestique, nourri à volonté avec un aliment granulé équilibré (Gidenne et Lebas, 1987) Revue en (Gidenne et Lebas, 2005) : mesures effectuées sur des lapins équipés d'un collier pour bloquer le comportement d'ingestion à l'anus.	30
Figure 8. Profil circadien de l'ingestion d'aliment solide chez le lapin en croissance ou adulte.	31
Figure 9 . Mécanismes responsables de la satiété induite par l'ingestion de protéines.....	37
Figure 10 : Des lapins de la population blanche d'Algérie dans les cages individuelle.....	39
Figure 11 . Présentation de l'aliment sous forme de granulés dans la mangeoire.....	40
Figure 12 : La charge protéique. A gauche p1 - A droite p2.....	41
Figure 13 : Image montrant les trois charges reçues par les lapins.	41
Figure 14 : La pesée de l'aliment par la balance électronique.	42
Figure 15 : La prise orale des différentes charges protéiques par les lapins.	42
Figure 16 : Matériels de dissection et balance pour la pesée des animaux.	43
Figure 17 : Carcasses chaudes préparées et identifiées avant réfrigération.	43
Figure 18 : Différents tissus adipeux A : Rétro-péritonéal B : Graisse péri-rénal C : Inter-scapulaire D : Tissu adipeux sous cutanée.	44
Figure 19. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) chez les lapins mâles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.....	45
Figure 20. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) (plus l'énergie de la charge), chez les lapins mâles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.	46

Figure 22. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) chez les lapins femelles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.....	47
Figure 23. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) (plus l'énergie de la charge), chez les lapins femelles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.	47
Figure 25. Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes de l'aliment standard (kJ) au cours de l'expérience, chez les lapins mâles des groupes P1, P2 et témoin.	48
Figure 26 . Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes (\pm Std) de l'aliment standard (kJ) (plus l'énergie de la charge) au cours de l'expérience, chez les lapins mâles des groupes P1, P2 et témoin.....	49
Figure 27 . Variation des quantités ingérées (%) moyennes (charge comprise), entre le début et la fin d'expérience dans les groupes témoin, P1 et P2, chez les lapins mâles.	50
Figure 28. Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes de l'aliment standard (kJ) au cours de l'expérience, chez les lapins femelles des groupes P1, P2 et témoin.	50
Figure 29. Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes (\pm Std) de l'aliment standard (kJ) (plus l'énergie de la charge) au cours de l'expérience, chez les lapins femelles des groupes P1, P2 et témoin.....	51
Figure 30. Variation des quantités ingérées (%) moyennes (charge comprise), entre le début et la fin d'expérience dans les groupes témoin, P1 et P2, chez les lapins femelles.	52
Figure 31. Evolution du poids corporel hebdomadaire, pendant l'expérience, chez les lapins mâles.	53
Figure 32. Evolution du poids corporel hebdomadaire, pendant l'expérience, chez les lapins femelles.	54
Figure 33. Evolution du gain de poids hebdomadaire cumulé chez les lapins mâles.....	54
Figure 34. Evolution du gain de poids hebdomadaire cumulé chez les femelles.....	55
Figure 35. Tendance linéaire du tissu adipeux périrénal des lapins males et femelles.	57

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
RESUME	4
LISTE DES TABLEAUX	5
LISTE DES FIGURES	6
TABLE DES MATIERES	8
LISTE DES ABREVIATIONS	12
INTRODUCTION GENERALE	13
1. INTRODUCTION	14
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	16
I. L'ESSENTIEL SUR LES PROTEINES ALIMENTAIRES	17
A. DEFINITION	17
B. DIGESTION ET ABSORPTION DES PROTEINES	18
A. BESOINS EN PROTEINES	18
C. VALEUR NUTRITIONNELLE D'UNE PROTEINE	18
D. EVALUATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE D'UNE PROTEINE	18
E. LA PROTEINE LAITIERE	19
1. <i>Caractéristiques structurales des protéines lactières</i>	19
a) Les caséines.....	19
b) Le lactosérum	19
2. <i>Propriétés fonctionnelles des protéines du lait</i>	20
3. <i>Notion de protéines lente et de protéine rapide</i>	20
4. <i>Valorisation des protéines du lactosérum</i>	21
II. PRISE ALIMENTAIRE	22
A. ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU SYSTEME DIGESTIF DU LAPIN	22
1. <i>Rappel anatomique</i>	22
a) Cavité buccale.....	22
b) L'œsophage.....	22
c) L'estomac.....	22
d) L'intestin grêle.....	23
e) Le Cæcum.....	23
f) Le colon.....	23
2. <i>Rappel physiologique</i>	26
a) Digestion stomacale	26
b) Digestion intestinale.....	27
c) Digestion caecale.....	27
B. LA COMPOSITION CORPORELLE DU LAPIN	28

1.	<i>La carcasse</i>	28
2.	<i>Localisation et pourcentage du gras dissécable de la carcasse</i>	28
3.	<i>Paramètres de croissance</i>	29
C.	LA PRISE ALIMENTAIRE	29
1.	<i>Définition</i>	29
2.	<i>Le comportement alimentaire du lapin en croissance et de l'adulte</i>	29
3.	<i>La caecotrophes</i>	32
III.	EFFET DES PROTEINES SUR LA PRISE ALIMENTAIRE	33
A.	DEPRESSION DE LA PRISE ALIMENTAIRE	33
1.	<i>Effet satiétogène des régimes HP</i>	33
2.	<i>Effet satiétogène des charges hyperprotéiques</i>	33
3.	<i>Effet de la nature protéique</i>	33
4.	<i>Physiologie du comportement alimentaire</i>	34
a)	Les mécanismes périphériques de la satiété induite par les protéines lactières	34
(1)	Les informations pré-absorptives	34
(a)	Au niveau de l'estomac	34
(b)	Au niveau de l'intestin	35
(2)	Les informations post-absorptives	35
(a)	La thermogénèse postprandiale	35
(b)	L'hypothèse aminostatique.....	35
(c)	Les AA précurseurs de neuromédiateurs.....	36
(d)	Le rôle des hormones	36
b)	Les mécanismes centraux de la satiété induite par les protéines alimentaires	36
(1)	Activation des circuits neuronaux de la satiété par les protéines alimentaires	36
(2)	L'implication de l'AMP-Activated Protein Kinase (AMPK) et du Mammalian Target of Rapamycine (mTOR) dans la satiété induite par les protéines alimentaires	36
	PARTIE EXPERIMENTALE	38
IV.	MATERIEL ET METHODES	39
A.	ANIMAUX	39
B.	L'ALIMENT STANDARD	39
C.	LA CHARGE PROTEIQUE	40
D.	PARAMETRES MESURES	42
E.	PROCEDURE EXPERIMENTALE	42
F.	CALCULS	44
G.	ANALYSE STATISTIQUE	44
V.	RESULTATS	45
A.	LA PRISE ALIMENTAIRE	45
1.	<i>À une heure suivant la présentation de l'aliment standard</i>	45
a)	Chez les lapins mâles	45
a)	Chez les lapins femelles	46
2.	<i>La prise alimentaire à 24 heures suivant la présentation de l'aliment standard</i>	48
a)	Chez les lapins mâles	48
b)	Chez les lapins femelles	50
3.	<i>La prise énergétique cumulée, gain de poids cumulé et efficacité énergétique</i>	52
B.	LE POIDS CORPOREL	53
1.	<i>Evolution du poids corporel hebdomadaire</i>	53

2. Evolution du gain de poids hebdomadaire cumulé	54
C. LA COMPOSITION CORPORELLE.....	55
1. Le poids avant et après l'abattage	55
2. Carcasse, tissu adipeux blanc (TAB) et indice d'adiposité	55
3. La masse maigre.....	56
a) Le tissu adipeux brun inter-scapulaire.....	56
b) Tissu adipeux périrénal	57
c) La peau.....	57
VI. DISCUSSION.....	58
VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	61
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXES.....	68

Liste des abréviations

NP : normoprotéique

HP : hyperprotéique

FAO : Food Agriculture Organization

WHO/OMS: World Health Organization/Organisation Mondiale de la Santé.

MIN : minute.

MS : matière sèche.

PNA : polysaccharides non amylacés.

AGV : acide gras volatils.

REPS : respectivement.

PAA : Poids avant abattage

PArA : Poids après abattage

CC : Carcasse chaude

RC : Rendement de la carcasse

TAB : Tissu adipeux blanc

PR : Tissu adipeux péri rénale

IA : Indice d'adiposité

TA : Tissu adipeux inter scapulaire.

PE : Peau

PI : Poids initial

GPQ : Gain de poids quotidien

CMQ : Consommation moyenne quotidienne

EA : Efficacité alimentaire

PF : Poids final

MM: Masse maigre.

PLS : protéine du lactosérum.

INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction

La concentration énergétique, d'une part, et la teneur en protéines et en acides aminés essentiels de l'aliment d'autre part, exercent un contrôle sur la prise alimentaire chez les monogastriques. Ainsi, un accroissement de la concentration énergétique de l'aliment peut ainsi se traduire par une réduction de la quantité ingérée et inversement, de telle sorte que l'énergie ingérée varie peu. De plus, la teneur de la nourriture en protéines, au-delà de son contenu énergétique, exerce un effet sur le comportement ingestif en induisant la satiété (Bensaid, 2003).

Ainsi, l'utilisation des protéines alimentaires, en particulier celle du lait et leurs composants, comme substitut de repas, peuvent contribuer à la prévention et à la gestion de la pandémie d'obésité (Luhovyy *et al.*, 2007). En effet, de nombreuses études ont démontré que l'enrichissement d'un repas en protéines entraînait une augmentation du rassasiement induit par ce repas, et réduisait la prise alimentaire lors du repas suivant (Porrini *et al.*, 1997; Blundell et Stubbs, 1999; Araya *et al.*, 2000). De même, l'ingestion, avant un repas, d'un en-cas (ou charge) hyperprotéique (HP) réduirait la prise alimentaire lors du repas suivant (Rolls *et al.*, 1988 ; Poppitt *et al.*, 1998), conduisant ainsi à la perte de poids avec maintien de la masse maigre (Leo Treyzon 2008).

Dans le cadre de régimes hyperprotéiques, les régimes riches en protéines (régimes HP) ont été largement étudiés pour leur capacité à réduire l'apport énergétique total et le poids corporel, et de limiter les dépôts lipidiques (Baba, 1999 ; Bensaid *et al.*, 2002 ; Peters & Harper, 1987 ; Lacroix, 2006 ; Westerterp, 2004). Parmi les protéines alimentaires, les protéines laitières sont largement utilisées comme ingrédients pour augmenter la teneur en protéines dans la formulation d'aliments à haute teneur en protéines (revue dans Pichon, 2008).

Cependant, il faut ingérer une grande quantité de protéines de manière chronique pour observer des effets sur la satiété, le poids et la composition corporelle. Or, les régimes HP pourraient être délétères pour certaines fonctions de l'organisme sur le long terme.

La stratégie serait, donc, de maintenir le sujet ou l'animal sous un régime standard tout en introduisant une supplémentation protéique sous forme d'une charge "encas" pour exercer l'effet satiétogène des protéines alimentaires de manière à réduire les quantités nécessaires à ingérer et à obtenir un effet sur la satiété.

Par ailleurs, les protéines de lactosérum sont utilisées dans les recherches de satiété protéique grâce à leur pouvoir satiétogène très remarquables par rapport à d'autres

protéines que ce soit d'origine animale ou végétales (par exemple les protéines du lactosérum et plus particulièrement l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline) chez le rat et chez l'homme. Certains associent cet effet des protéines du lactosérum à la présence de peptides satiétogènes au niveau gastro-intestinal. Cependant, la mise en évidence de ces peptides reste encore à effectuer (Fromentin et al., 2011).

Enfin, la plupart des résultats sur l'effet satiétogène des protéines ont été obtenus chez le rat et la souris et chez l'homme. Il serait donc intéressant d'utiliser une autre espèce à savoir le lapin.

Dans ce cadre, le but de ce travail vise à déterminer l'effet de la teneur en protéines de lactosérum de charges sur l'énergie ingérée quotidienne, le poids corporel et l'adiposité chez des lapins soumis à un régime standard, *ad-libitum*, pendant 30 jours.

Le présent manuscrit comprend deux parties :

- Une partie bibliographique où sont passés en revue les données de la littérature sur les protéines, le comportement alimentaire et les conséquences et mécanismes qui sous-tendent l'effet des protéines sur la prise alimentaire.
- Une partie expérimentale où sont présentés la méthodologie, les résultats et la discussion.

Partie bibliographique

I. L'essentiel sur les protéines alimentaires

A. Définition

Les protéines sont des macromolécules constituées d'un enchaînement d'AA reliés par des liaisons peptidiques. Elles comptent parmi les principaux constituants de base de toutes les cellules animales et végétales. En général, on parle de protéine lorsque la chaîne contient plus de 50 acides aminés, et de peptide pour des assemblages de plus petite taille. Elles représentent jusqu'à 50% du poids sec d'un être vivant et constituent 15 à 20% de notre apport énergétique quotidien. Les protéines alimentaires et corporelles sont les principales sources d'azote et d'AA, qui ont plusieurs fonctions métaboliques majeures : ce sont des substrats de la synthèse protéique, des précurseurs de composés azotés importants dans l'organisme (acides nucléiques, monoxyde d'azote, glutathion...) et des substrats du métabolisme énergétique. Certains AA tels que la leucine ont également des fonctions régulatrices et des fonctions signal.. Les protéines sont des éléments essentiels de la vie de la cellule : elles peuvent jouer un rôle structurel (comme l'actine), un rôle dans la mobilité (comme la myosine), un rôle catalytique (les enzymes), un rôle de régulation de la compaction de l'ADN (les histones) ou d'expression des gènes (les facteurs de transcription), etc. En somme, l'immense majorité des fonctions cellulaires sont assurées par des protéines. La structure des protéines est complexe et influe sur le rôle qu'elles jouent dans la vie de la cellule (Boutry et al., 2008).

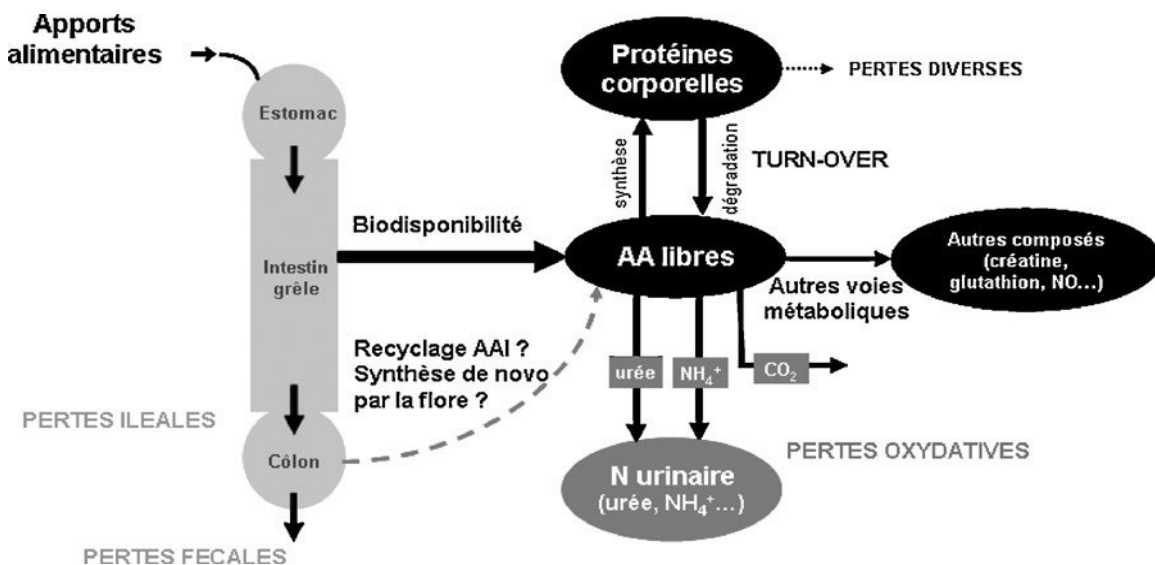


Figure 1. Modèle général de l'homéostasie des acides aminés (Boutry et al., 2008)

B. Digestion et absorption des protéines

Après action de la pepsine dans l'estomac, la digestion intestinale des protéines libère dans la lumière intestinale un mélange d'AA libres et de peptides. La muqueuse de l'intestin assure l'absorption des AA. Après avoir été absorbés, ils sont dirigés vers les synthèses protéiques, utilisés pour la synthèse d'autres composés ou dégradés. En période postprandiale, environ 75% des AA sont utilisés dans les voies de synthèses et le reste est catabolisé (Le Floch & Seve, 2000). Les principales pertes en AA se font par voie oxydative, donnant comme produits terminaux du dioxyde de carbone, de l'ammonium et de l'urée (**figure 1**). Le niveau d'oxydation des AA est proportionnel à l'apport protéique mais jamais nul, même en l'absence d'apports : il y a des pertes irréductibles d'azote. Les pertes en AA se font également en très faible quantité sous forme de pertes protéiques diverses par les cheveux, les desquamations. . . Une partie des protéines sécrétées dans l'intestin pourrait également constituer une source de pertes en AAI (revue dans Boutry et *al.*, 2008).

A. Besoins en protéines

La définition du besoin en acides aminés (AA) nutritionnellement indispensables, les conséquences des variations de l'apport en AA dans les régimes alimentaires et l'évaluation de la qualité des protéines alimentaires pour satisfaire les besoins de l'Homme sont des questions majeures de santé publique (Boutry et *al.*, 2008).

C. Valeur nutritionnelle d'une protéine

On dit qu'une protéine est de haute valeur nutritionnelle quand elle est capable de couvrir les besoins en azote et en acides aminés pour assurer d'une part l'entretien des tissus chez l'adulte, et éventuellement la croissance ou de la lactation (Bensaid, 2003), donc elle dépend en premier lieu de la composition en acides aminés strictement indispensables et conditionnellement indispensables, et de leur digestibilité et orientation métabolique.

D. Evaluation de la qualité nutritionnelle d'une protéine

Suite aux études de Bos et *al.* (2003) et les travaux de modélisation de Juillet et *al.* (2008) sur l'homme utilisant les protéines de blé, qui ont mis en évidence les différences dans l'orientation postprandiale de l'azote alimentaire selon la nature des protéines ou la charge calorique des repas, la qualité des protéines dépend de leur capacité à fournir aux différents compartiments de l'organisme les AA et l'azote dont ils ont besoin.

La FAO préconise la méthode de score chimique (Amino Acid Score ou AAS) après la découverte des AAI chez l'animale et l'homme par Rose pour évaluer la composition idéal d'une protéine en AAI, mais avec l'évolution des technique liée a l'utilisation des isotopes stable qui nous permet de suivre le devenir de l'azote alimentaire chez l'homme dans le corps, on peut définir aussi la qualité d'une protéine par rapport a son utilisation métabolique (Lacroix, 2008).

E. La protéine laitière

Le lait est un milieu complexe, il doit contenir plus de 100000 espèces moléculaires différentes. Grâce aux développements technologiques de séparation, les protéines du lait sont devenus les composé « phare » dans tous les domaines actuels de la nutrition et ceux de la nutraceutique.

1. Caractéristiques structurales des protéines laitières

Le lait de vache contient de nombreuses protéines regroupées en deux grands groupes principaux qui sont :

a) Les caséines

Fractions insolubles à pH 4,6 et a 20c°, qui dans un lait de mélange qui contient 30-35 g/L représentent 78%, comprenant 4 composants majeurs, dénommés α_1 , α_2 , β et κ , présent dans le rapport suivant 40, 10, 35, 12 organisées en micelles.

b) Le lactosérum

Contient un très grands nombre de composants. Les principaux dans le lait de vache sont : β -lactoglobuline, l' α -lactalbumine, la sérum-albumine et les immunoglobulines, avec des teneurs respective de : 2,7-2-0,25 et 0,65 g/L. il y a d'autres en faible quantités font l'objet d'une production industrielle a cause de leur propriété bioactive comme le lactoferrine et lactoperoxidase. Il est appelé autrefois petit lait, le lactosérum est constitué de la phase aqueuse du lait laquelle contient l'ensemble des éléments solubles de celui-ci, il renferme des petites molécules tel que : lactose, vitamines hydrosolubles, nucléotides, aa libres, sel minéraux...etc. on trouve aussi dans cette phase hydrique des protéines solubles appelés séro-protéines.

Tableau 1 : Caractéristiques structurales des principales protéines du lait.

Fraction	Concentration en g/l (% protéines)	Partie prosthétique P (phosphore) G (glucides)	Ponts disulfure (ou groupes SH)	Poids moléculaire	Structure	Nombre des acides aminés
<u>Caséines</u>	24-28 (82)				Micellaire	
α1	12-15(39-46)	8P	0	23612	Bipolaire	
α2	3-4 (8-11)	10-13 P	2 cys SH	25228	Déplissée	
β	9-11 (25-35)	P	0	23980	bipolaire	
κ	3-4 (8-15)	1P+1G	2 cys SH	19000	Bipolaire	
γ	1-2 (3-7)				Fragment de caséine β	
<u>Protéines soluble</u>	5-7 (18)				Globulaire compacte	
β-lactoglobuline	2-4 (7-12)	Calcium	2 SS-1 SH	18362		162
α-lactalbimine	1-1,5 (2-5)		4S-S	14174	Oligomères	123
sérum albumine	0,1-0,4(0,7-1,3)		17S-S-1	69000	Globulaire	582
immunoglobulines	0,6-1 (1,9-3,3)		SH	15000 à 1000000	Globulaire Oligomères	
protéose-peptone	2,5(0,6-1,8)				Globulaire ou dépliée	

2. Propriétés fonctionnelles des protéines du lait

Les protéines du lait jouent un rôle essentiel dans notre régime alimentaire journalier car elles sont consommées en grande quantité sous des formes très diversifiées telles que lait de consommation, produits laitiers (fromages, yaourts, desserts lactés), nombreuses préparations alimentaires (conserves, plats cuisinés, sauces, potages, pâtisseries, confiseries). Leur composition équilibrée en résidus d'acides aminés essentiels et leur bonne digestibilité sont leur premier atout aux yeux des nutritionnistes. A cela, il convient d'ajouter que ces protéines ayant des structures moléculaires variées confèrent aux aliments dans lesquelles elles sont incorporées, une excellente acceptabilité sensorielle grâce à un grand nombre de propriétés physico-chimiques et techno-fonctionnelles. Les protéines du lait, au même titre que celles de l'œuf, constituent des ingrédients polyfonctionnels d'excellente valeur ajoutée que les nouvelles techniques de fractionnement sont capables de fournir à l'industrie alimentaire sous des formes adaptées aux différentes utilisations.

3. Notion de protéines lente et de protéine rapide

Le lait reste la principale source de protéines et de peptides à activité biologique. L'émergence du concept de protéines lentes et rapides, à l'instar de la classification des glucides, confère une potentialité nouvelle aux protéines du lait pour moduler la réponse du

renouvellement des protéines de l'organisme, majoritairement en cas de situations physiologiques critiques ou en cas de pathologies chroniques engendrant des besoins particuliers en protéines (Gryson *et al.*, 2008). En accord avec les travaux de Boirie, à l'origine du concept de « *protéines lentes – protéines rapides* » (Boirie *et al.*, 1997).

4. Valorisation des protéines du lactosérum

Sont les protéines les plus adaptés à la nutrition des être humain, elles sont les protéines de référence contenant les AA essentiels dans les proportions optimales, ce groupe des protéines ni présent dans le co-produit de transformation du lait en fromage ou en caséine qu'en faible concentration 0,6% jusqu' à la fin des années 60 n'était il que peu ou pas séparé et valorisé.

Avec l'avance technologique de l'ultrafiltration sur membrane les protéines de lactosérum ont pus être valorisés, les industriels utilisent tant les qualités nutritionnelles que les propriétés technico-fonctionnelles unique de ces protéines (solubilité sur toute l'échelle de ph, pouvoirs moussant, gélifiant, émulsifiant, structuration et rétention d'eaux).

II. Prise alimentaire

A. Anatomie et physiologie du système digestif du lapin

1. Rappel anatomique

Le lapin possède un système digestif adapté au régime herbivore, spécifié depuis la dentition jusqu'à la possession d'un très grand fermentaire qui est le Cæcum, ainsi qu'un système de séparation des particules au niveau du colon proximale qui permet la formation des cæcotrophes. La figure 1 représente l'anatomie générale de l'appareil digestif du lapin et les principales caractéristiques de chaque segment. Le tube digestif est d'une longueur qui varie entre 4,5 et 5 m. Les différentes parties qui le composent sont : la cavité buccale, l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle, le cæcum, le colon.

a) Cavité buccale.

Le lapin possède 28 dents profondément insérées dans la mâchoire (sans racines) (Kimse, 2009), sa formule dentaire est $2/1 \ 0/0 \ 3/2 \ 3/3$, ses dents se développent sans interruption durant toute la vie (1 à 2,4 mm/semaine) et sa mastication reste réduite lorsque l'alimentation est basée sur des granulés, en revanche s'il reçoit du fourrage les mouvements masticatoires peuvent être très fréquents jusqu'à 120 /min (Gidenne et Lebas, 2005).

b) L'œsophage.

Il est court et sert exclusivement au transit des aliments à l'estomac, il faut noter aussi que le lapin ne régurgite pas c.-à-d. ne sait pas vomir (Gidenne et Lebas, 2005).

c) L'estomac.

Il est constituée de trois parties (**figure 2**), partie supérieure fundus, partie « moyenne » le cardia où arrive l'œsophage et enfin la partie inférieure, l'antrum. L'estomac se termine par le pylore qui est responsable du flux des aliments vers l'intestin grêle. Il faut noter que les cæcotrophes stockés dans l'estomac (antrum) (Laplace J.P, Lebas F. et al, 1974) ou ils séjournent de 2 à 4 heures (Lebas, 2009). La muqueuse stomacale sécrète de l'acide chlorhydrique, de la pepsine et quelques minéraux (Ca, K, Mg, Na), le pH est très acide au cours du nyctémère 1,8 à 2,2 (Gidenne et Lebas, 2005). Le pH de l'estomac varie entre 1,5 et 3,5 (Kimse, 2009)

d) L'intestin grêle.

Il mesure environ 3,2 à 4,5 m son calibre atteint rarement un centimètre (Barone, 1984) et le transit du bol alimentaire est estimé à 1 heure et 30 min (Vernay et Raynaud, 1975). La partie supérieure rattachée au pyllore est le duodénum. Le jéjunum constitue la partie intermédiaire et l'iléon la partie inférieure dont l'extrémité est rattachée au Cæcum. Le pH intestinal contrairement à l'estomac est légèrement alcalin (pH 7,2 à 7,5) grâce à la bile. Il s'acidifie progressivement pour se stabiliser entre 6,2 et 6,5 à la fin de l'iléon (Gidenne et Lebas, 2005). Le contenu de l'intestin grêle est liquide principalement celui du duodénum et du jéjunum (6-8% de MS) (Kimse, 2009).

e) Le Cæcum.

Il représente, chez le lapin 49% de la capacité du tube digestif (Portsmouth, 1997) et 90% de l'ensemble intestin grêle-cæcum-colon alors qu'il représente pour la plupart des animaux domestique 4 à 11% de l'ensemble, sauf le cheval a un cæcum développé 30% et un colon qui fait 2 fois le volume caecale (Kimse, 2009) Le cæcum est de 40 à 45 cm de long, et contient 40 % contenu digestif total, soit 100 à 120 g d'un mélange pâteux uniforme (20 à 25% MS) (Gidenne et Lebas, 2005), son PH oscille entre 5,5 et 6 selon la période du jour (Gidenne et Lebas, 1984).

f) Le colon.

Il fait suite au cæcum et mesure environ 115-135 cm de long. Il est subdivisé en 2 parties : le côlon proximal et le côlon distal, séparés par le *fusus coli* (Figure 4). Le côlon proximal est lui-même subdivisé en 2 segments. Le premier segment comporte des *haustra* sur tout son contour dont le rôle est d'aider à la séparation des phases solide et liquide lors de la production des crottes. Le deuxième segment présente des *haustra* plus accentués mais sur une seule rangée. Le *fusus coli*, long de 3 à 4 cm, possède une paroi très épaisse, densément nervee, lui permettant de jouer une activité de presse (pacemaker) et en évacuant l'eau de mouler les crottes dures. Le côlon distal possède une paroi fine et lisse se déformant au passage des crottes et cæcotrophes. Le côlon aboutit ensuite sur le rectum, puis sur l'anus. La muqueuse colique contient de nombreuses cellules à mucus qui lubrifient et facilitent le passage des crottes dures (Snipes et al., 1982).

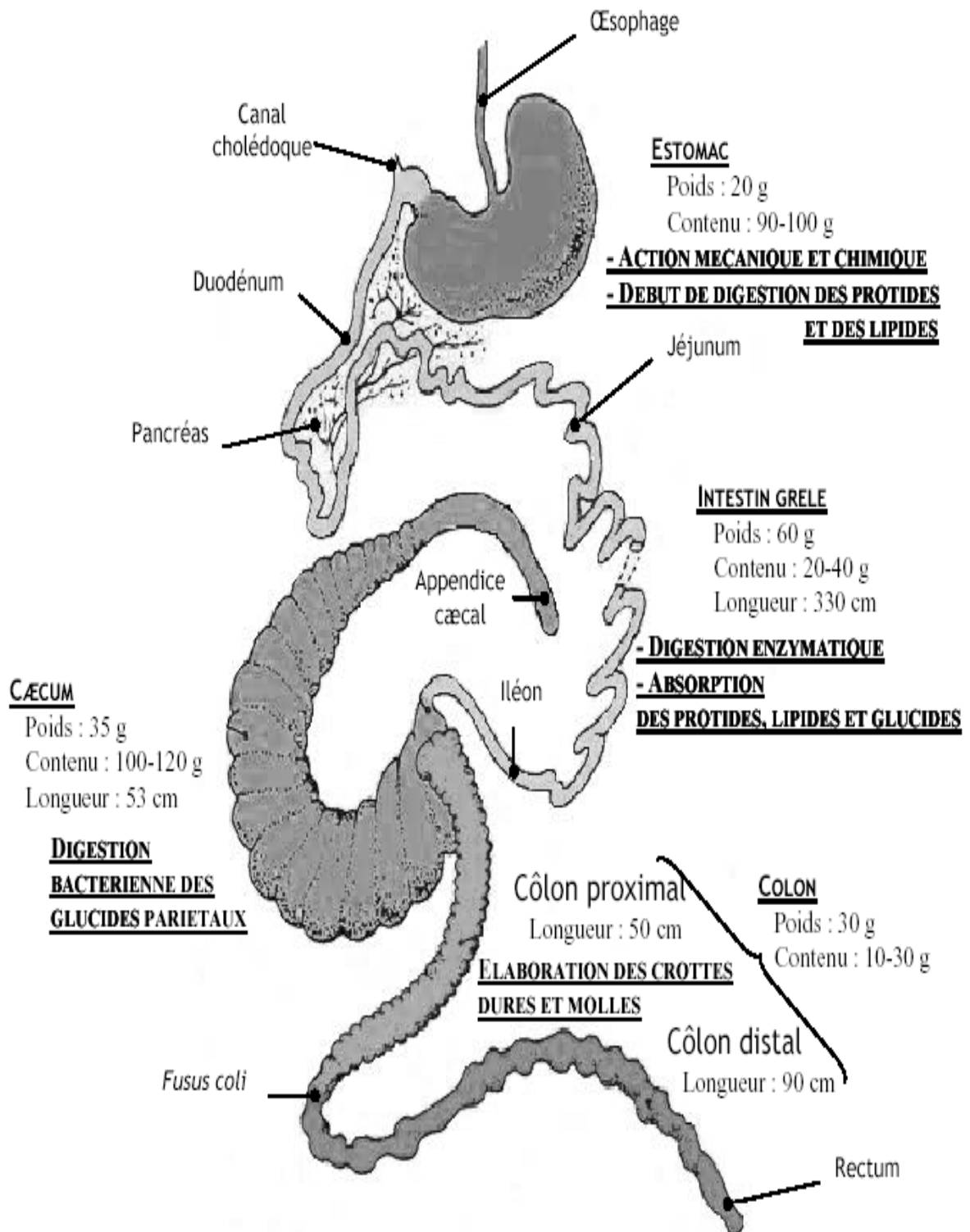


Figure 2. Anatomie générale du tube digestif du lapin (Valeurs moyennes pour un lapin néo-zélandais blanc de 2,5kg (Lebas et al., 1997)

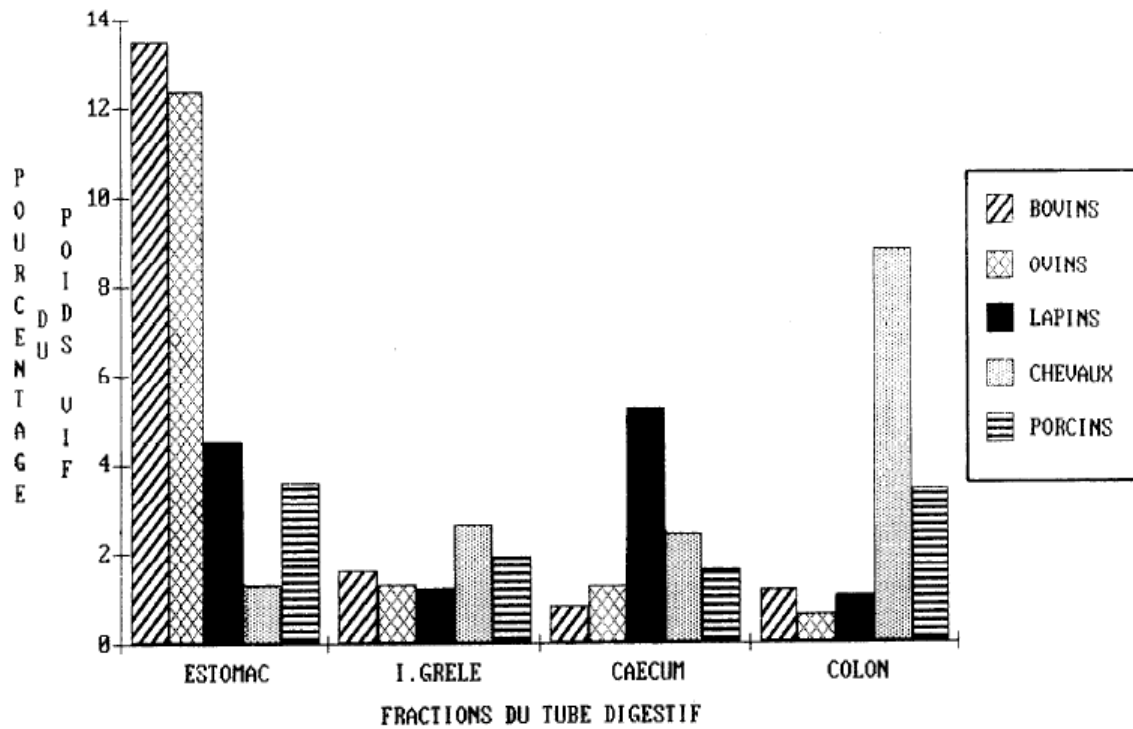


Figure 3 . Volume digestifs de différentes espèces animales d'après (Cheek, 1987) (revue dans Lebas, 1989)

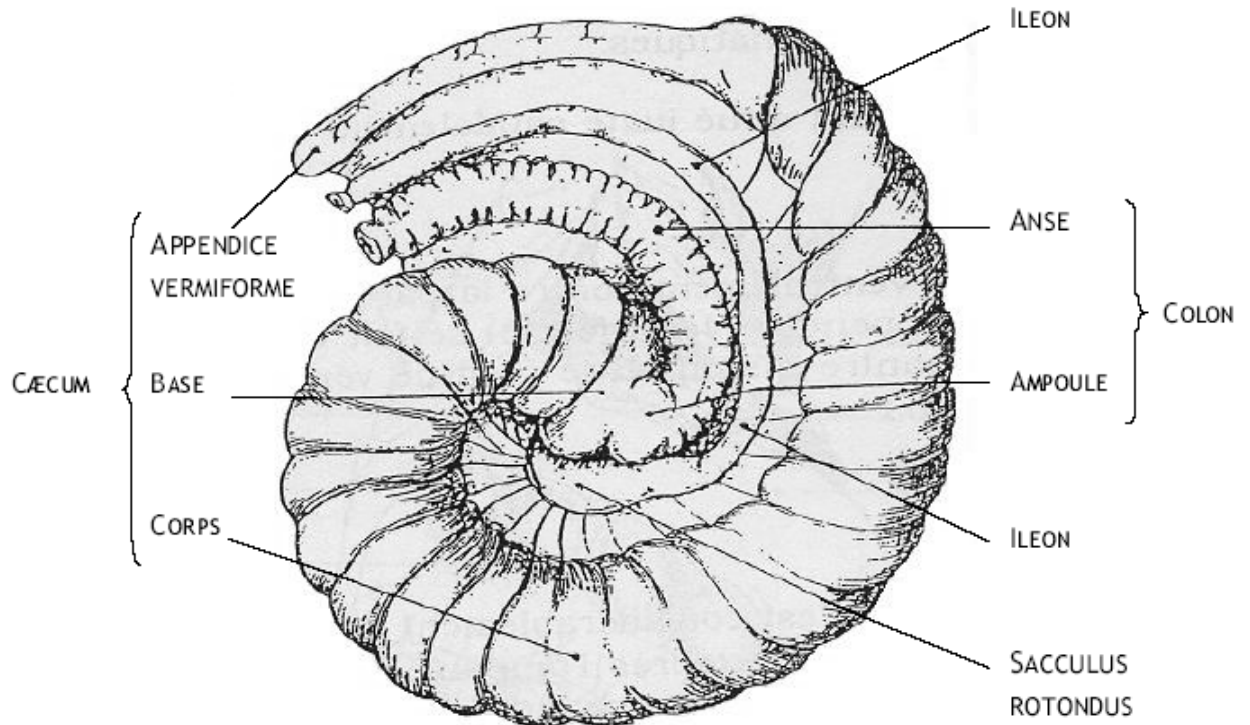


Figure 4. Morphologie du cæcum du lapin. D'après Barone et al. (1973) revue dans (Michelland, 2009)

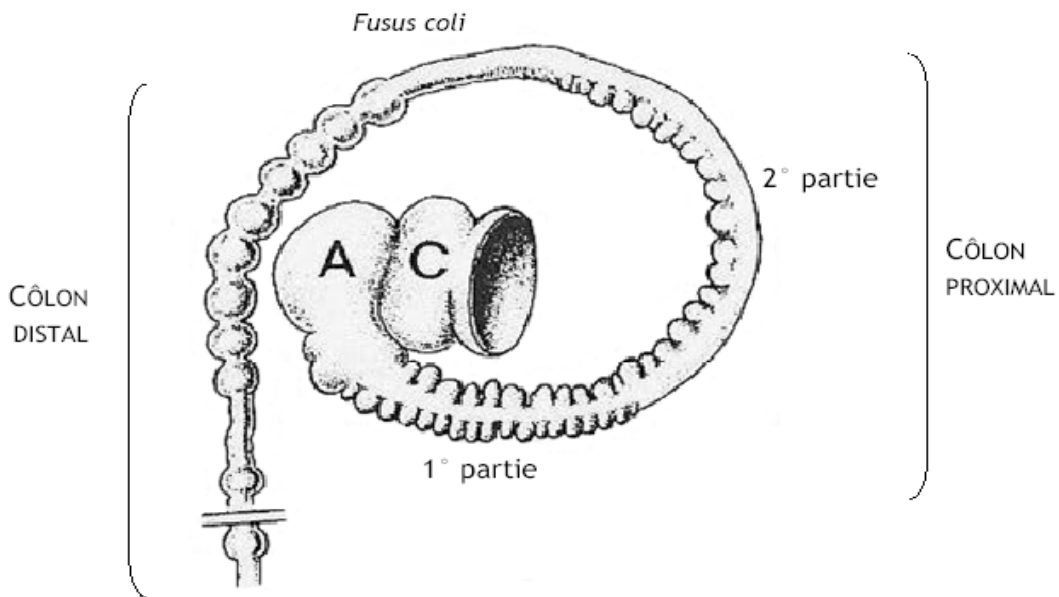


Figure 5. Représentation schématique du côlon du lapin A = ampoule caecale, C = caecum; D'après Snipes et al. (1982) revue dans (Michelland, 2009).

2. Rappel physiologique

Chez le lapin, la digestion dans les segments antérieurs est de type monogastrique (dépendante de la sécrétion enzymatique de l'animal), elle est ensuite complétée dans les segments postérieurs par une digestion microbienne (dépendante de l'activité de la flore caeco-colique). Dans cette partie on va parler de la physiologie digestive dans les différents segments.

a) Digestion stomacale

L'aliment entre dans la bouche où il est mastiqué et une lipase linguale et une enzyme amylolytique commencent la dégradation du bol gastrique. L'estomac sécrète de l'acide chlorhydrique qui acidifie le milieu, dénature les protéines, active la pepsinogène et joue un rôle protecteur par l'inactivation des microorganismes (Martinsen *al.*, 2005), une fois le bol dans l'estomac il y subit des transformations chimiques et un brassage important durant 1,7 et 4 heures où l'estomac assure :

- la dénaturation et la lyse des protéines en peptides par l'action conjuguée de la pepsine et d'acidité grâce à l'acide chlorhydrique sécrète par (Marounek et *al.*, 1995) ;

- La lyse des acides gras à chaînes courtes ou moyennes par la lipase gastrique. La sécrétion de la lipase gastrique chez le lapin est proportionnellement plus importante que celle de la majorité des autres mammifères (Moreau *al.*, 1988) revue dans (Michelland, 2009) ;
- la lyse des micro-organismes allochtones grâce aux sécrétions acides (Martinsen et *al.*, 2005).

b) Digestion intestinale

La protéolyse amorcée dans l'estomac se poursuit sous l'action des protéases pancréatiques (trypsine, chymotrypsine et élastase pancréatique) et des peptidases. La lyse des lipides alimentaires se poursuit grâce à diverses enzymes pancréatiques :

- la lipase et la colipase pancréatique responsables de l'hydrolyse des triglycérides (Martignon, 2010) ;
- la phospholipase A2 et la cholestérol-estérase à l'origine de l'hydrolyse des autres composés lipidiques (phospholipide, cholestérol, ester de cholestérol etc.) ;
- Les glucides non fibreux sont lysés notamment grâce à l'amylase pancréatique (Corring et Rérat, 1983) revue dans (Michelland, 2009)

c) Digestion caecale

Le Cæcum est le principal lieu de dégradation des glucides pariétaux qui nécessitent l'intervention des enzymes bactériennes, ces bactéries leur principale source de glucide est les fibres alimentaires constitués de lignine partie non glucidique et les polysaccharides non amylacés (PNA). Au niveau du Cæcum les fibres, l'amidon, les mucopolysaccharides et les autres oligosaccharides ayant échappés à la digestion ou à l'absorption intestinale sont dégradés en hexose et pentose par les enzymes bactériennes qui sont par la suite fermentés en pyruvate dans les bactéries qui va a son tour être transformer en AGV (C2, C3etC4) plus production de gaz, ces AGV sont des acides gras a courte chaine qui sont utilises par le lapin pour couvrir 10 a 40% de ses besoins d'entretien, en effet les AGV majeur sont l' acétate C2 (70 à 80% des AGV totaux) suivi du butyrate (8 à 20% des AGV totaux) et du propionate (3 à 10% des AGV totaux) (Kimse, 2009) . Il existe dans le Cæcum, en plus des activités fibrolytiques, une activité métabolique de l'azote et une absorption de certains minéraux notamment le phosphate. Ces activités métaboliques (protéolytiques et uréolytiques) aboutissent à une production

d'ammoniaque suite à la fermentation des acides aminés endogènes (bactéries lysées, mucus, cellules épithéliales desquamées, urée). L'ammoniaque produit peut être absorbé directement à travers la membrane par la muqueuse caecale pour la biosynthèse microbienne. Les produits de la biosynthèse sont partiellement recyclés lors de la cécotrophes par le lapin.

B. La composition corporelle du lapin

1. La carcasse

Un lapin de race Néo-Zélandaise âgé de 10 semaines et pesant 2,25 kg (55 % de son poids adulte) fournit, après saignée, dépouille et éviscération, une carcasse de 1,395 kg.

2. Localisation et pourcentage du gras dissécable de la carcasse

Le quart du muscle de la carcasse est situé dans l'avant, 37 % dans le rable et 38 % dans l'arrière. Ces trois morceaux portent respectivement 41 % (niveau inter-scapulaire), 53 % (niveau péri-rénal) et 6 % (niveau inguinal) de l'ensemble du gras dissécable de la carcasse (Ohayoun, 1989).

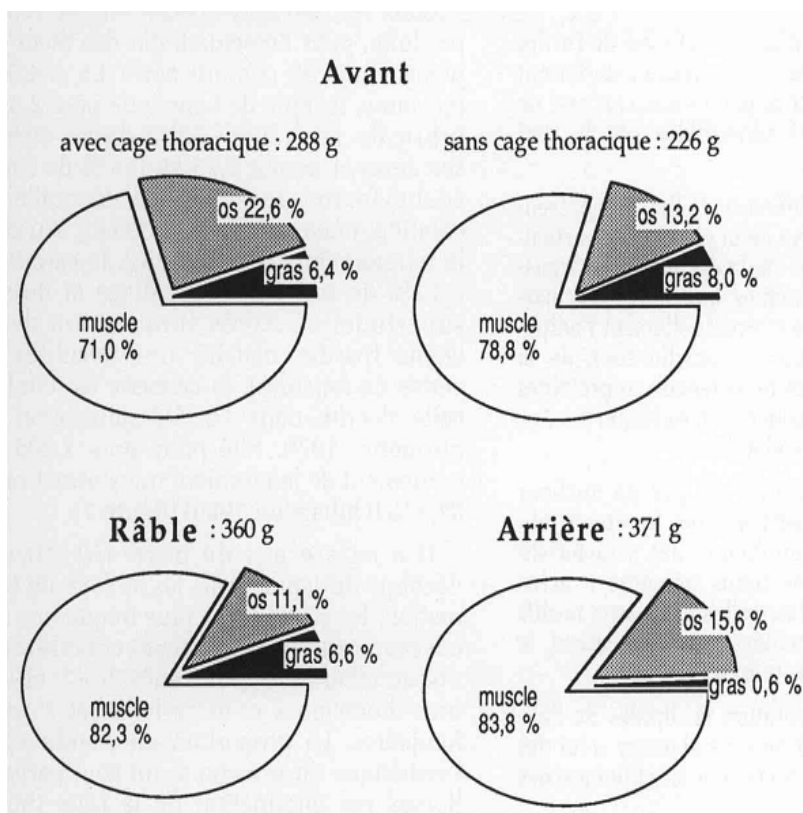


Figure 6. Proportion de tissus osseux, musculaire et adipeux dans les 3 morceaux de découpe d'une carcasse de 1285 g (Ohayoun, 1989)

3. Paramètres de croissance

Les études de Cantier et al (1969) portant sur une souche commune de lapins de format adulte moyen montrent que la croissance du tractus digestif devient moins rapide que celle du corps à partir du poids de 650 g, celle de la peau à partir de 850 g. La proportion d'os diminue, sur tout au-delà de 1 000 g de poids vif ; la proportion de tissu musculaire progresse jusqu'au poids de 2 450 g, puis diminue ; dès lors, le rapport muscle/os tend à décroître. La croissance relative du tissu adipeux devient plus rapide que celle du corps à partir du poids de 950 g mais surtout au-delà du poids de 2 100 g. Enfin, la proportion de foie augmente jusqu'au poids de 1 700 g puis décroît rapidement (Ohayoun, 1989).

C. La prise alimentaire

1. Définition

La prise alimentaire est un comportement complexe qui assure la consommation périodique de substances sources d'énergie et de nutriments tirées de l'environnement. Elle participe de façon essentielle à plusieurs mécanismes homéostatiques (maintien de la glycémie ; régulation du bilan d'énergie) qui réalisent la stabilité du milieu intérieur assurant à l'animal (ou à l'homme) une vie autonome, selon la formulation classique de Claude Bernard (Bellisle, 2005).

2. Le comportement alimentaire du lapin en croissance et de l'adulte

A l'âge du sevrage entre 4 et 5 semaines, l'ingestion alimentaire quotidienne s'accroît corrélativement à son poids métabolique vif et atteint un plateau entre 4 et 5 mois d'âge (**figure 9**). *Exemple* (à 4 semaine d'âge un lapin Néo-Zélandais pèse 14% de son poids adulte qui est 4 Kg, mais mange le quart de la quantité d'aliment qu'il consommera quand 'il sera adulte c.-à-d. $150/4g/j$). A 8 semaine d'âge il consomme 62% et son poids est de 42% de l'adulte, à 16 semaine il mange 100 à 110% et son poids est de 87% de l'adulte (Gidenne et Lebas, 2005).

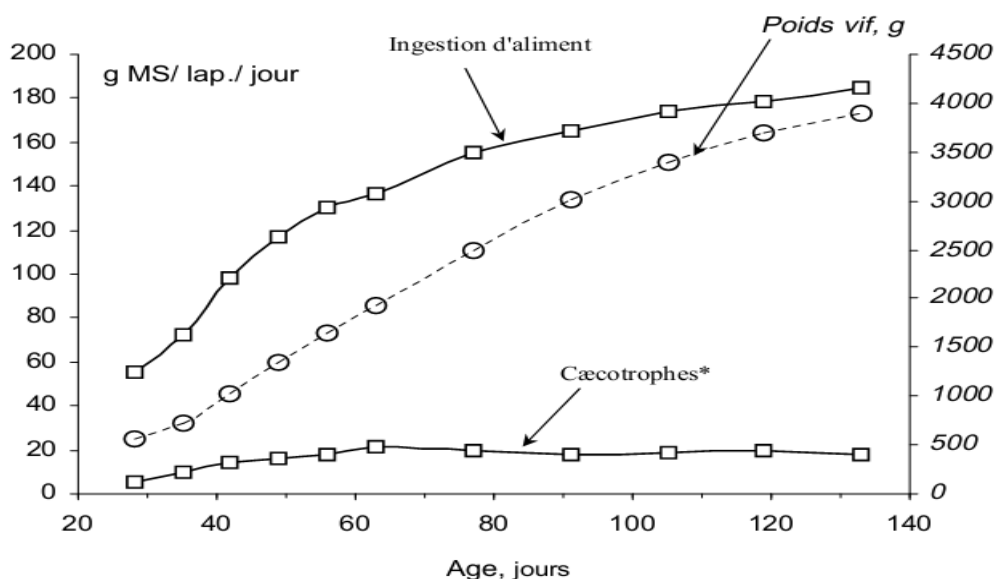


Figure 7. Ingestion et croissance chez le lapin, entre le sevrage (28j.) et l'âge adulte. Données pour le lapin domestique, nourri à volonté avec un aliment granulé équilibré (Gidenne et Lebas, 1987) Revue en (Gidenne et Lebas, 2005) : mesures effectuées sur des lapins équipés d'un collier pour bloquer le comportement d'ingestion à l'anus.

La vitesse de croissance atteint son niveau maximal entre le sevrage et 8 semaine d'âge tandis que l'indice de consommation reste très bas qui donne une efficacité alimentaire optimale, ensuite elle diminue en parallèle avec la diminution de l'ingestion (Gidenne et *al.*, 2010).

Tableau 2 : Ingestion, croissance et efficacité alimentaire du lapin domestique sevré.

Périodes d'âge		
	5-7 Semaines	7-10 Semaines
Ingestion d'aliment (g/j)	100-120	140-170
Gain de poids (g/j)	45-50	35-45
Efficacité alimentaire (g d'aliment / g gain de poids)	2,2-2,4	3,4-3,8

Valeurs moyennes pour des lapins (lignées commerciales actuelles), nourris à volonté un aliment granulé équilibré (89% MS), et ayant librement accès à de l'eau potable (Gidenne et Lebas, 2005).

La quantité d'ingestion d'aliment solide se double presque entre la 6 et la 9 semaines d'âge, il passe de 2,6 à 4,4 g par repas pour un nombre de repas stable de (39 repas /j), puis le nombre de repas augmente jusqu'à (41 repas/j) mais la quantité ingérée reste stable (4,4g/repas) jusqu'à la 15 semaines d'âge, à 6 semaine d'âge le lapin reste un temps de 3 h

à manger puis se temps décroît rapidement et tombe en dessous de 2h heures (Gidenne et al., 2010), et lorsque on donne un aliment farineux aux lapins au lieu d'un aliment granulé se temps se double (Lebas, 1973). La fréquence d'abreuvement est de 30 à 35 abreuvement par jour entre la 5 et la 18 semaines (Prud'hon et al, 1975) revue dans (Martignon, 2010).

Prud'hon et al. 1972 ont noté que les lapins adultes âgés de 28 à 44 semaines passent 1h30 à 2h15 à s'alimenter, repartit en 23 à 33 repas. Ces caractéristiques sont variables entre les individus dans le temps mais stable intra individu (Martignon, 2010).

Selon Jordan et al. (2008), les lapins passent près des 2/3 à se reposer, 20% à se toiletter et gratter, et 10% à manger, ils changent souvent leurs activités environ 47 fois par heure, cette fragmentation des activités est observée pour tous les comportements (Martignon, 2010).

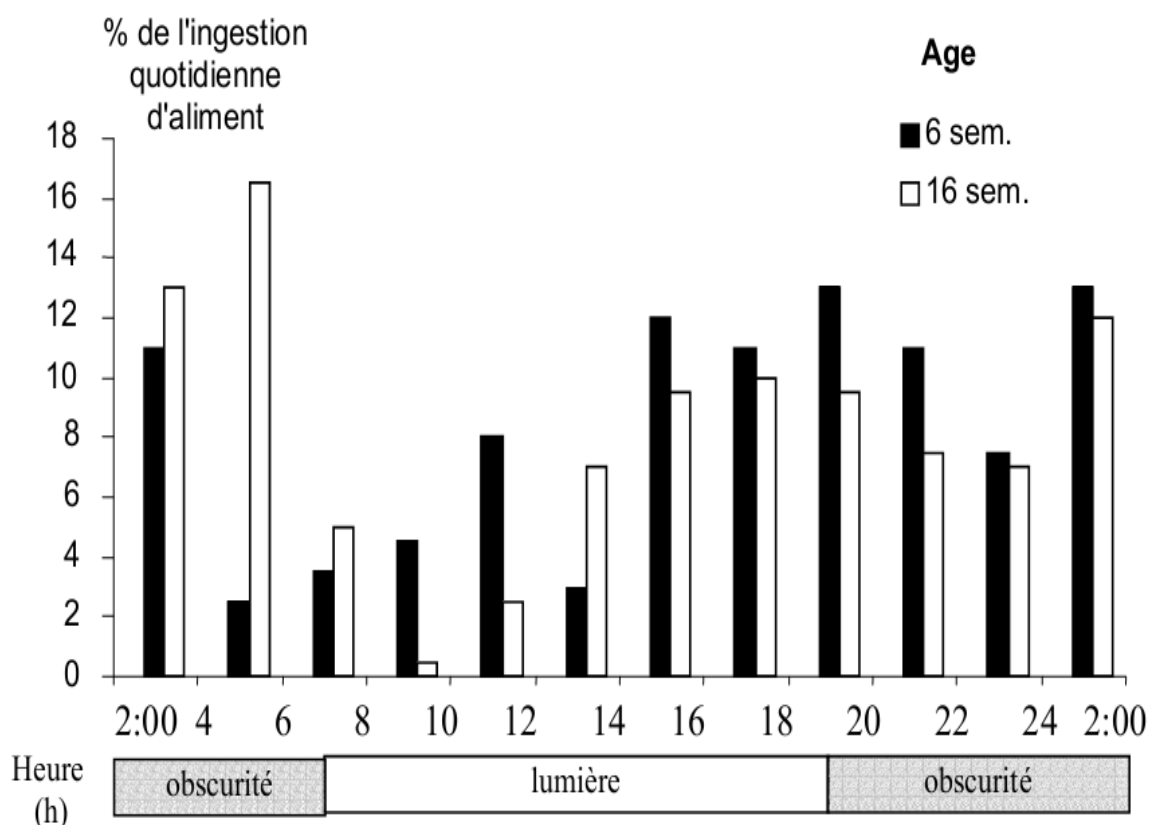


Figure 8. Profil circadien de l'ingestion d'aliment solide chez le lapin en croissance ou adulte.

Valeurs moyenne pour le lapin domestique (n=6) nourri ad-lib. Avec un aliment granulé équilibré (ingestion moyenne quotidienne = 80 et 189 g/j reps. à 6 et 16 sem. d'âge) et élevé sous un rythme lumineux de 7:00-19:00h (Bellier et al., 1995) revue dans (Gidenne al., 2010)

3. La caecotrophes

Le lapin produit deux types d'excréments : les crottes dures qui sont éliminées dans le milieu environnant assimilables aux excréments des autres animaux et les caecotrophes qui sont ingérés par l'animal puis stockés dans l'estomac. L'ingestion des caecotrophes permet au lapin d'utiliser l'énergie et les nutriments contenus dans les organismes microbiens, Gidenne et Poncet (1985) estiment, dans leurs conditions expérimentales, que la caecotrophes permet le recyclage d'une quantité d'azote égale à 20 % de l'ingéré azoté total (aliment + caecotrophes) (Gidenne et Lebas, 1987)

La production de caecotrophes et de crottes dures présente un rythme circadien (Bellier et Gidenne, 1996). La production des crottes dures résulte d'une séparation mécanique des différents composants du bol alimentaire au sein du côlon proximal. Durant l'excrétion de crottes dures, les substances solubles dans l'eau et les fines particules (<0.3 mm de diamètre) sont rapportées dans le cæcum par les mouvements péristaltiques du cæcum provoquant un flux inverse (rétrogradé). Les grosses particules (>0.3 mm) passent dans la partie distale du côlon. En revanche, lors de la production de caecotrophes, les mouvements péristaltiques de la base du cæcum et surtout du côlon proximal diminuent. Cette activité motrice serait régulée par les prostaglandines (Pairet et al., 1986).

Tableau 3. Comparaison de la composition des crottes dure et des caecotrophes du lapin.

	Crottes dures	Caecotrophes
Eau (%)	43-48	61-71
Protéines brutes (% MS)	11-15	26-32
Lipide (% MS)	2.7	2.2
Cellulose brute (% MS)	29-30	17-18
Minéraux (% MS)	5-14	8-15

(Carabaño et Piquer, 1998; Fekete et Bokori, 1985; Fraga et al., 1991; Proto, 1965) revue dans (Michelland, 2009).

III. Effet des protéines sur la prise alimentaire

A. Dépression de la prise alimentaire

1. Effet satiétogène des régimes HP

Lorsque l'apport en AA d'un régime dépasse largement les recommandations nutritionnelles chez un animal donné, on le qualifie d'hyperprotéique (Harper et Peters, 1989) (par exemple 45% P/E chez le rat Wistar adulte), suite à des régimes pareille, l'adaptation à court terme sera insuffisante et se traduit par une dépression de la prise alimentaire.

2. Effet satiétogène des charges hyperprotéiques

Chez le rat et l'homme la protéine a le pouvoir le plus satiétogène parmi les trois macronutriments (Bensaid et al., 2002; Teff, et al., 1989). Ces différences quant aux effets des macronutriments ont été observées chez des sujets dans différents états physiologiques ou physiopathologiques ainsi que dans différents cadres méthodologiques, faisant varier la durée de la charge ou sa voie d'administration, intra gastrique, intra duodénale ou intraveineuse (Trigazis et al., 1997)

Il est admis que l'enrichissement d'un repas en protéine (à un niveau hyperprotéique) entraîne une augmentation du rassasiement et réduit la prise alimentaire lors du repas suivant (Porrini et al., 1997), en outre, l'introduction d'un « en cas » hyperprotéique réduit la prise alimentaire lors du repas suivant (Porrini et al., 1997). Porrini et al ont démontré chez l'homme, qu'au delà d'une valeur minimum de quantité protéiques et d'énergie d'un en-cas ingéré d'environ 150 k cal, il va y avoir un effet significatif sur la satiété. De plus, le délai entre l'en-cas protéique et le repas influence largement la capacité de régulation du premier sur le second. L'en-cas possède un effet maximal s'il est placé juste avant le repas, après une heure son effet il reste important (Anderson et al., 2004), tan disque après trois heures l'en-cas hyperprotéique perd son effet (Bowen et al., 2006).

3. Effet de la nature protéique

L'impact de la nature de la protéine sur l'effet satiétogène reste très controversé. La comparaison de cet effet satiétogène entre des protéines de nature différente requiert comme condition préalable des protéines bien équilibrées en acides aminés indispensables (AAI), puisqu'une carence ou déficience en AAI induit une dépression de prise alimentaire dont l'origine n'est pas satiétogène mais liée à une aversion gustative conditionnée. Les protéines animales et végétales n'ont pas, a

priori, de pouvoirs satiétogènes différents. Il est intéressant de noter que ces pouvoirs satiétogènes sont similaires malgré des variations post ingestives en acides aminés plasmatiques ainsi qu'en sécrétion de peptides gastro-intestinaux différents (Bowen *et al.*, 2006).

4. Physiologie du comportement alimentaire

a) Les mécanismes périphériques de la satiété induite par les protéines lactières

Les signaux pré et post absorptifs générées par l'ingestion des protéines participent au contrôle des cinétiques gastriques, des sécrétions pancréatiques et de la prise alimentaire. Par une transmission directe par le système sanguin (hormones, nutriments..) et une transmission indirecte par le système nerveux faisant intervenir des neuromédiateurs des informations pré et post absorptives sont transmises. Au niveau du tube digestif, le système nerveux communique des informations pré-absorptives via le nerf vague, les afférences splanchniques et /ou le frein iléal. Le nerf vague transmet au cerveau des informations originaires des zones orosensorielles, de l'estomac, de l'intestin et du foie (Fromentin *et al.*, 2011).

(1) Les informations pré-absorptives

(a) Au niveau de l'estomac

les mécanorécepteurs situés au niveau des afférences vagues stomacales émis des signaux volumétriques lors du remplissage gastrique par les quelles l'estomac rétrocontrôle négativement le rassasiement (Powley et Phillips, 2004), selon L'Heureux-Bouron *et al.* (2004), le régime hyperprotéique semble augmenter le volume gastrique grâce à l'augmentation de la sécrétion gastrique et la quantité d'eau bue (L'Heureux-Bouron *et al.*, 2004), la vidange gastrique est ralenti par la teneur élevée en protéines (Faipoux, 2007) ce ralentissement selon Raybould *et al.* (2006) peut être du fait de la sécrétion de cholécystokinine (CCK) (Raybould *et al.*, 1991). Hall et Millward ont expliqué l'effet satiétogène des protéines de lactosérum plus important que celui de la caséine par leur vitesse de vidange gastrique rapide (Hall *et al.*, 2003) qui influence potentiellement le rassasiement et la satiété via le devenir de l'azote ingéré et la cinétique des AA plasmatiques (Mellinkoff *et al.*, 1956) revue dans (Fromentin *et al.*, 2011). En accord avec les travaux de Boirie à l'origine du concept de « protéines lentes – protéines rapides » et avec la théorie aminostatique de Mellinkoff *et al.* (1956), ces auteurs concluent que la cinétique de mise à disposition des acides aminés plus rapide et plus massive suite à

l'ingestion de protéines de lactosérum pourrait entraîner un pouvoir satiétogène plus élevé de ces protéines (Fromentin et al., 2011).

(b) *Au niveau de l'intestin*

l'intestin grêle au cours de la digestion détecte la présence des protéines, les peptides et les acides aminés alimentaires, ces éléments alimentaires sont à l'origine des signaux anorexigène exercé sur les afférences vagues qui convoient ces informations vers les zones du tronc cérébral qui joue un rôle dans le contrôle de la prise alimentaire, ces signaux dépendent de l'action des peptides gastro-intestinaux tels que la CCK ou la sérotonine (5-HT) (Berthoud, 2008 ; Darcel et al., 2005).

Le nerf vague est impliqué, mais non indispensable, dans la transmission des signaux de satiété induit par l'ingestion de protéines (Fromentin et al., 2011). « Le frein iléal » ou ('ileal brake') est un mécanisme de rétro contrôle négatif exercé par l'iléon qui, suite à la présence locale de nutriments, résulte en un ralentissement de la vidange gastrique, de la motilité et de la sécrétion de l'intestin proximal et en l'augmentation de la satiété. L'ingestion de protéines favoriserait la production de PYY et de GLP-1 (Batterham et al., 2006). Certains peptides laitiers tels que le CMP pourraient être à l'origine de la satiété induite par certaines protéines alimentaires, ils ont la capacité de réduire la motilité intestinale, par conséquent tout le phénomène de la digestion (Fromentin et al., 2011).

(2) Les informations post-absorptives

(a) *La thermogénèse postprandiale*

Les signaux périphériques de la satiété induite par les protéines pourrait engendrer une augmentation de la dépense énergétique et stimulerait la thermogénèse postprandiale à un niveau supérieur à celui des autres macronutriments (Westterterp-Plantenga, 2008) revue dans (Fromentin et al., 2011).

(b) *L'hypothèse aminostatique*

Après l'ingestion des protéines alimentaires La concentration plasmatique élevée des AA pourrait être à l'origine de signaux périphériques de satiété (Mellinkoff et al., 1956) qui seraient détectés au niveau de l'hypothalamus (Choi et al., 2001) revue dans (Fromentin et al., 2011) La teneur en leucine pourrait également jouer un rôle sur la régulation centrale de l'appétit.

(c) *Les AA précurseurs de neuromédiateurs*

Le tryptophane est le précurseur de la sérotonine médiateur d'inhibition de l'appétit (Latham, 1979).

(d) *Le rôle des hormones*

Depuis les années 2000, de nombreux travaux chez l'homme ont été menés pour étudier les différences de profils hormonaux postprandiaux qui pourraient être à l'origine de la satiété induite par les protéines. Les études ont notamment porté sur la CCK, le glucagon-like peptide 1 GLP-1, la ghréline, la leptine, l'insuline et le glucagon mais aucune corrélation claire n'en ressort (Fromentin et al., 2011).

b) *Les mécanismes centraux de la satiété induite par les protéines alimentaires*

(1) *Activation des circuits neuronaux de la satiété par les protéines alimentaires*

L'ingestion de repas ou de régimes hyperprotéiques se traduit par une augmentation conjointe de l'activité de différentes régions du système nerveux central (CNS). Les protéines inhiberaient l'activation de neurones GABAergiques et opioïdiques dans le noyau accumbens (NAcc), et inhiberaient ainsi la prise alimentaire en diminuant la réponse hédonique à l'alimentation, vraisemblablement en raison de leur faible palatabilité (Fromentin et al., 2011).

(2) *L'implication de l'AMP-Activated Protein Kinase (AMPK) et du Mammalian Target of Rapamycin (mTOR) dans la satiété induite par les protéines alimentaires*

La leucine qui est un acide aminé branché dont les protéines laitières solubles du lactosérum sont riches, semble jouer un rôle dans la régulation centrale de l'appétit sans passer par intermédiaire de la synthèse d'un neurotransmetteur (Cota et al., 2006). Les travaux de Cota et al. (2006) montrent qu'une injection centrale de leucine induit une activation de la voie de signalisation du mTOR (phosphorylation) elle-même à l'origine d'une réduction de la prise alimentaire. mTOR est une sérine-thréonine kinase connue pour son rôle dans l'intégration des flux énergétiques au sein de la cellule. Ces travaux semblent montrer que la voie de signalisation de mTOR, décrite jusqu'ici comme un carrefour des grandes orientations métaboliques cellulaires, joue également un rôle en tant que régulateur central de la prise alimentaire. De plus, L'AMPK et mTOR sont localisés dans les mêmes neurones de l'hypothalamus : les neurones orexigéniques à neuropeptide Y

(NPY) et les neurones anorexigéniques à proopiomélanocortine (POMC) de l'hypothalamus (Fromentin et al., 2011)

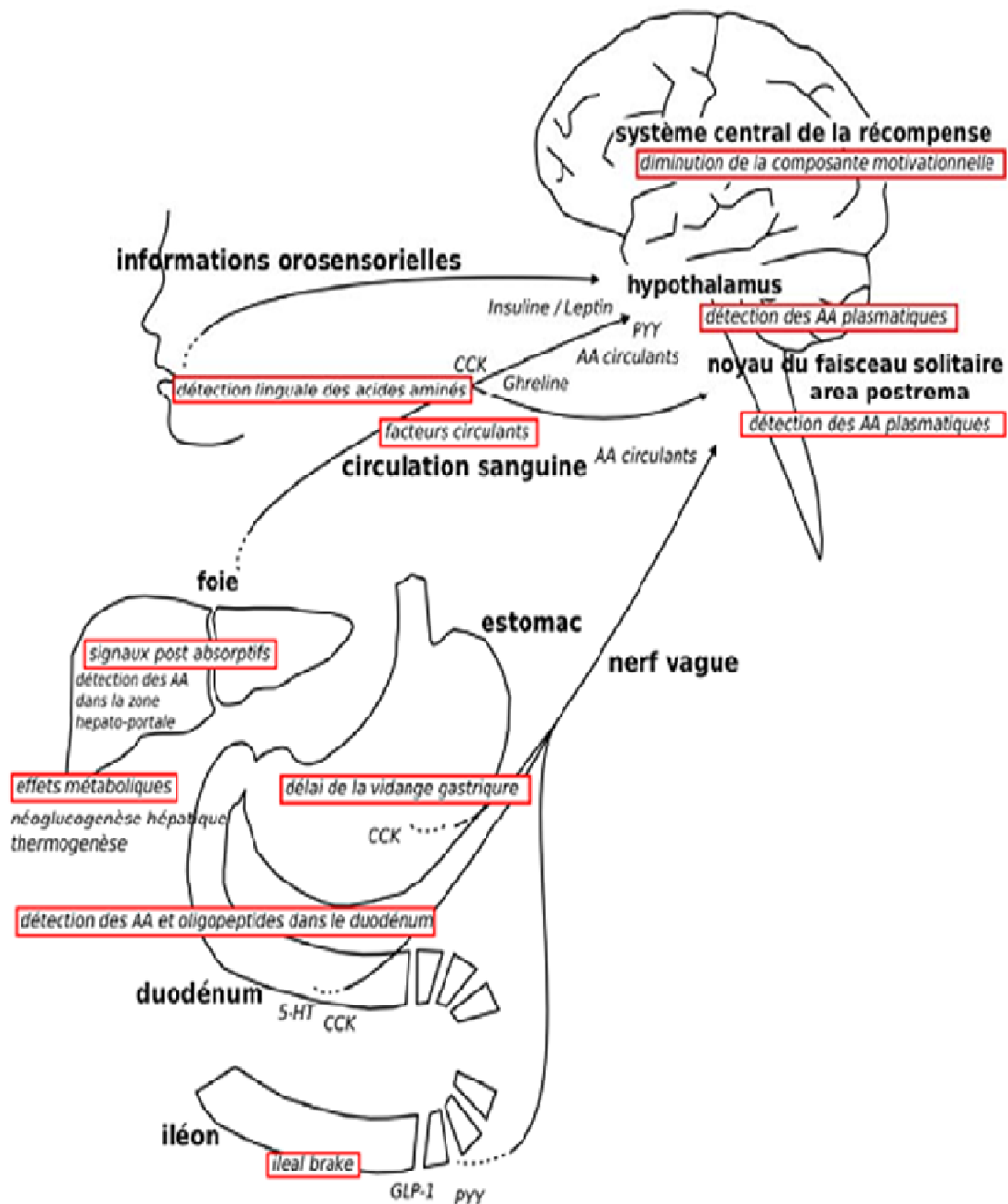


Figure 9 . Mécanismes responsables de la satiété induite par l'ingestion de protéines

(AA : acides aminés, CCK : Cholécystokinine, GLP-1 : Glucagon Like Peptide-1 : PYY Peptide YY, 5-HT sérotonine) (Fromentin et al., 2011).

PARTIE EXPERIMENTALE

IV. Matériel et méthodes

A. Animaux

Dans notre étude, nous avons utilisé, comme modèle animal, des lapins mâles et femelles de 50 à 55j d'âge de la population blanche de l'Algérie dont le poids initial est compris entre 900-990 g. dans notre expérimentation nous avons utilisées 3 groupes (témoin, P1et P2) dans chaqu'un (5 males et 5 femelles) où les lapins sont installés individuellement dans des cages et ont, au moins, une semaine d'habituation à leur nouvel environnement. La température ($22\pm 1^{\circ}\text{C}$) ainsi que le cycle lumineux (cycle 12h/12h, période nocturne de 20h00-08h00), sont maintenus constants durant toute l'expérience, et l'eau est fournie *ad libitum*.



Figure 10 : Des lapins de la population blanche d'Algérie dans les cages individuelle.

B. L'aliment standard

Dans l'expérience nous avons utilisé un aliment commercial standard qui existe sur le marché donné aux groupes témoins et expérimentaux (23h/24h) en *ad libitum* a partir de 10h du matin pendant toute la période expérimentale, Cet aliment est une formulation standard, présenté sous forme des granules, complète assurant les besoins pour l'élevage avec 16% de protéine (**tableau 4**).

Tableau 4. Composition de l'aliment standard.

Composition	% d'aliment
Luzerne	41,8
Son de blé	28
Orge	23
Mais	2,7
Soja	3,5
CMV	1
Energie digestible	2526 kcal/kg d'aliment
Protéine	16%



Figure 11 . Présentation de l'aliment sous forme de granulés dans la mangeoire.

C. La charge protéique

Deux charges protéiques P1 et P2 isocaloriques et isovolumiques (68 kJ, 8ml), contenant, respectivement 1,5 et 3 g de protéine de lactosérum (*whey*) ont été utilisées (**tableau 5**). Elles ont été administrées sous forme liquide (mélangées à l'eau 1v/1v) à 10 heures, pendant 4 min, juste avant la distribution de l'aliment standard.

Tableau 5. La composition des charges protéiques P1 et P2

Constituant	P1	P2
Protéine	2,15 g	4,3 g
Amidon	2,15 g	0 g
Eau	5 ml	5 ml
Energie en Kcal	16,34	16,34
Energie en KJ	68	68
Concentration protéique	1,5 g (35%)	3 g (70%)
Masse de la charge	4,3 g	4,3 g



Figure 12 : La charge protéique. A gauche p1 - A droite p2.



Figure 13 : Image montrant les trois charges reçues par les lapins.

D. Paramètres mesurés

Les quantités ingérées et le poids corporel ont été mesurés à l'aide d'une balance électronique (Sartorius, Sartorius AG Göttingen, GM312, GERMANY, sensibilité de 0,01 g) 1 heure et 23 heures après la distribution de l'aliment standard.



Figure 14 : La pesé de l'aliment par la balance électronique.

E. Procédure expérimentale

Les lapins ont été habitués aux conditions expérimentales (environnement et alimentation) pendant deux semaines puis ils ont été répartis en trois groupes et reçu à 10 heures, par voie orale, une charge de 8ml, "eau", P1 et P2 à l'aide d'une seringue de 5ml, pendant 4 minutes environ (tableau 5). Cette opération a été répétée pendant 29 jours.



Figure 15 : La prise orale des différentes charges protéiques par les lapins.

Les quantités d'aliments ingérées ont été mesurées tous les jours alors que le poids corporel a été relevé toutes les semaines (S₁₋₆). Les lapins malades ont été exclus de l'expérience.

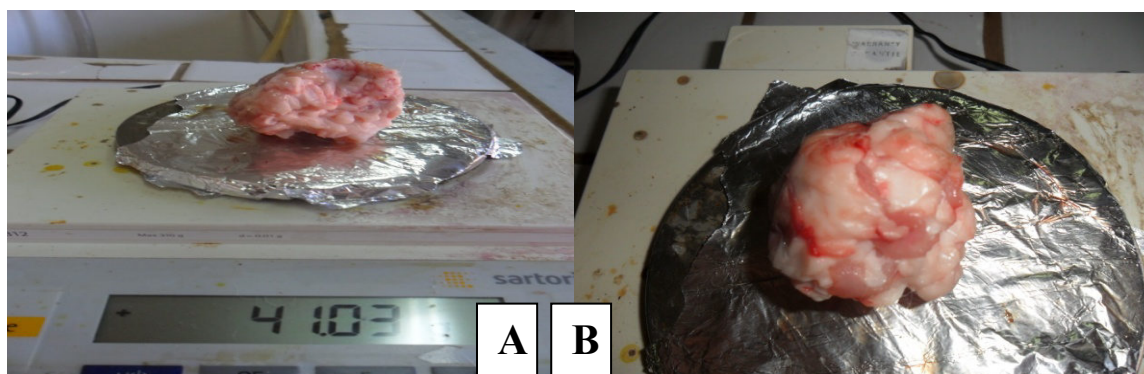
Enfin de l'expérience, les lapins ont été abattus par saignée et disséqués pour l'analyse de la composition corporelle selon la méthode de Blasco et Ohayoun (1993). Les parties de l'animal qui ont été pesées ont été le tissu adipeux blanc (rétropéritonéal, épидидymaire, mésentérique et sous-cutané) et brun (interscapulaire), les organes (cœur, reins, foie et restes), la carcasse.



Figure 16 : Matériels de dissection et balance pour la pesé des animaux.



Figure 17 : Carcasses chaudes préparées et identifiées avant réfrigération.



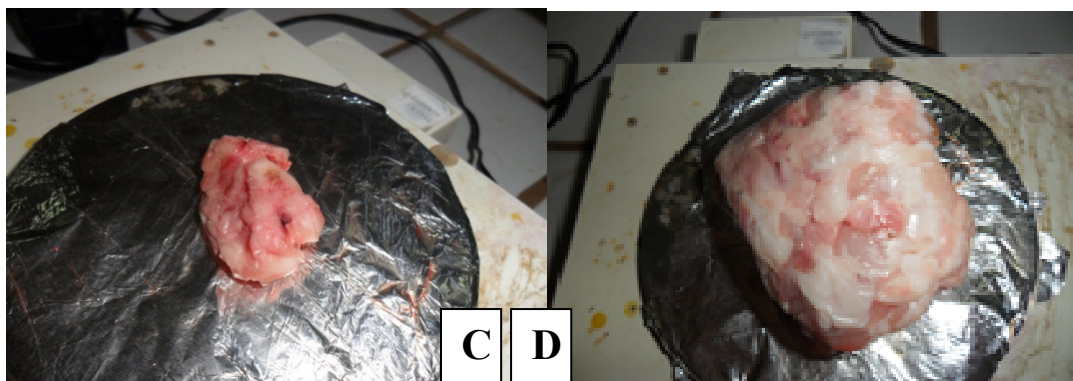


Figure 18 : Différents tissus adipeux A : Rétro-péritonéal B : Graisse péri-rénal C : Inter-scapulaire D : Tissu adipeux sous cutanée.

F. Calculs

- La masse maigre a été définie comme la somme du poids des organes internes ainsi que la carcasse et tête.
- L'indice d'adiposité a été calculé en divisant le poids total de tissu adipeux blanc par le poids de la carcasse.
- L'efficacité énergétique est calculée par: le gain de poids (g) au cours de la période expérimentale, divisé par la consommation d'énergie cumulée au cours de la même période (kJ).

G. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés sous forme de Moyenne \pm std. Les différences ont été considérées comme significatives lorsque le $p \leq 0,05$. Les différences intergroupes sont testées par une analyse de variance mono factorielle (ANOVA) à l'aide du programme EXELSTAT (2009).

V. Résultats

A. La prise alimentaire

1. À une heure suivant la présentation de l'aliment standard

a) Chez les lapins mâles

- ❖ L'administration orale des charges protéiques de 1,5 et 3 g, chez les groupes P1 et P2, respectivement, entraîne une diminution non significative ($p > 0,05$) des quantités d'énergie ingérées moyennes à une heure suivant la présentation de l'aliment standard par rapport à la charge "eau" chez le groupe témoin (42 et 44 %), au début de l'expérience (J_{1-3}). A la fin de l'expérience (J_{27-29}), on observe une augmentation de l'énergie ingérée moyenne, dans le groupe P1 (9%) et un retour dans le groupe P2, au même niveau presque par rapport au groupe témoin (**figure 19**).

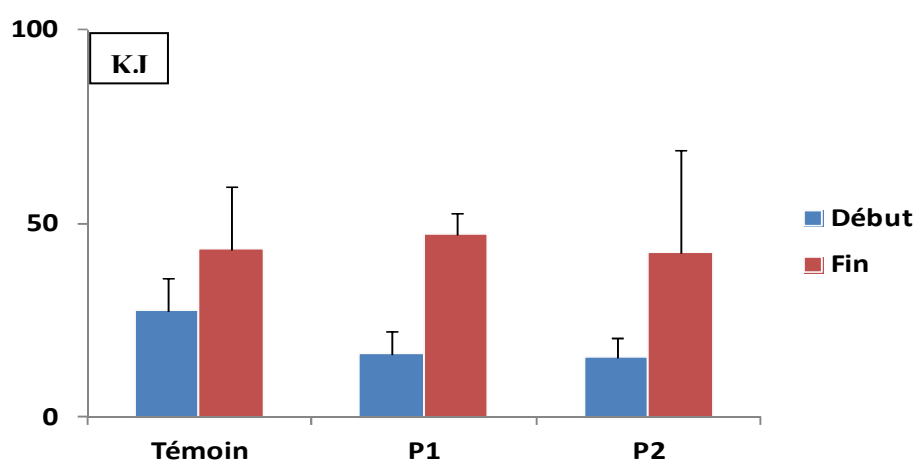


Figure 19. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) chez les lapins mâles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.

- ❖ Lorsqu'on prend en compte l'énergie de la charge (68 kJ), on observe une augmentation significative des quantités d'énergie ingérées moyennes ($p < 0,05$) dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin, chez les mâles, au début (145%, 139%, respectivement) et à la fin de l'expérience (168 et 157%, respectivement) (**figure 20**).

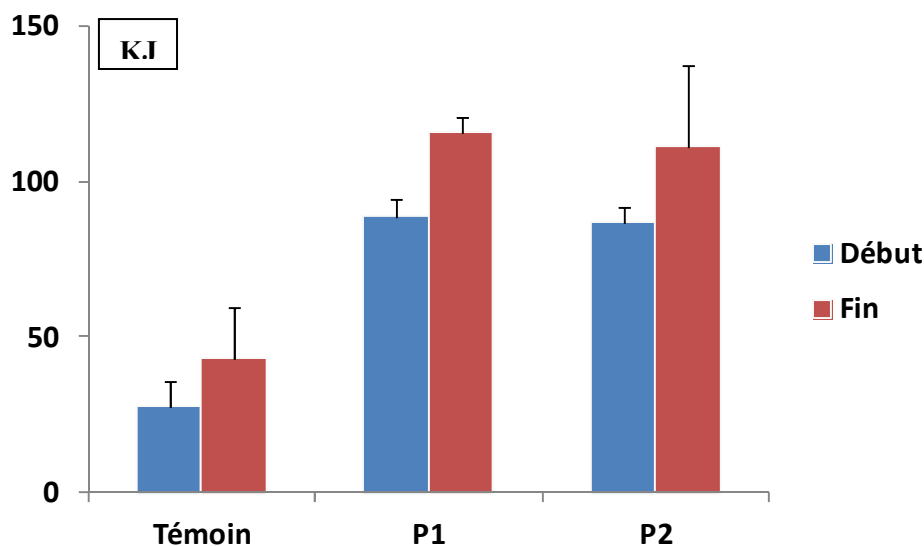


Figure 20. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) (plus l'énergie de la charge), chez les lapins mâles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.

a) Chez les lapins femelles

- ❖ Contrairement aux mâles, on observe une diminution significative ($p < 0.05$) des quantités d'énergie ingérées moyennes, une heure suivant la présentation de l'aliment standard, dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin, au début et à la fin de l'expérience. En effet, les charges protéiques administrées induisent, une baisse de 71 et 87 %, au début, et 40 et 63 %, à la fin de l'expérience, des quantités d'énergie ingérées moyennes, par rapport au groupe témoin, respectivement (figure 21).

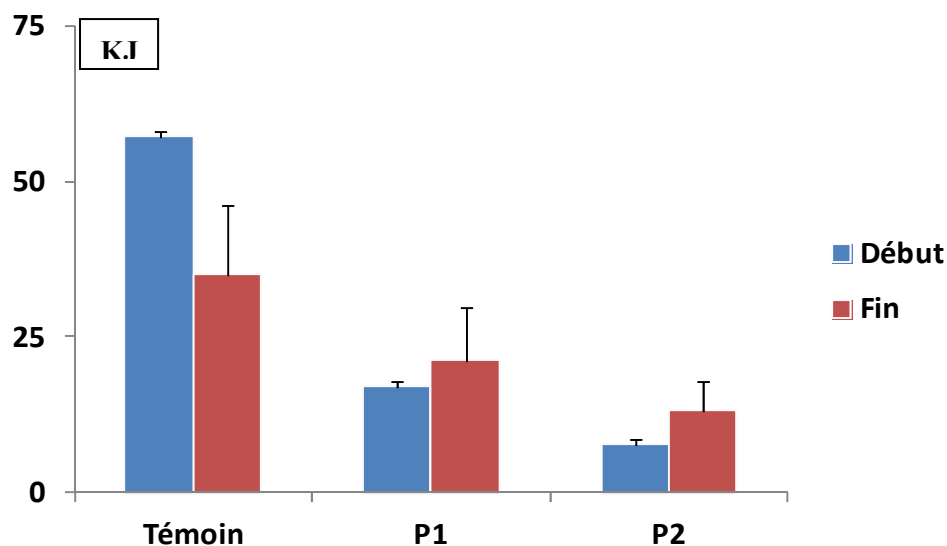


Figure 21. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) chez les lapins femelles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.

- ❖ La prise en compte de la charge, chez les femelles, montre une augmentation significative des quantités d'énergie ingérées moyennes ($p < 0.05$) chez les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin, seulement à la fin de l'expérience (155 et 132 %, respectivement) (**figure 22**).

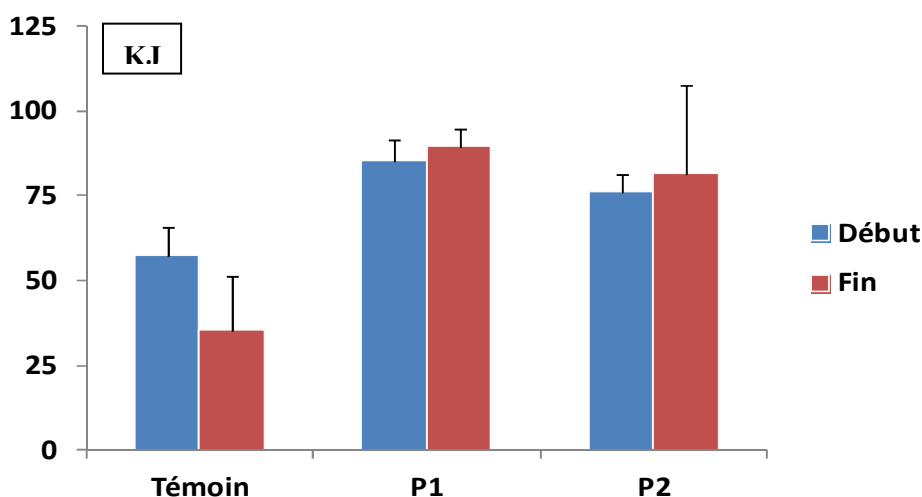


Figure 22. Moyenne des quantités d'énergie ingérées \pm Std (kJ) (plus l'énergie de la charge), chez les lapins femelles, une heure suivant l'administration de la "charge", dans les groupes P1, P2 et témoin, au début et à la fin de l'expérience.

Entre les lapins mâles et femelles, il n'y a, toutefois, pas de différence significative dans les quantités d'énergie ingérées moyennes, une heure suivant la présentation de l'aliment standard.

2. La prise alimentaire à 24 heures suivant la présentation de l'aliment standard

a) Chez les lapins mâles

- ❖ L'énergie ingérée moyenne évolue légèrement au-dessus, dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin, jusqu'au 19^{ème} jour. Puis, un retour des quantités d'énergie ingérées dans le groupe P1 et dans le groupe P2, au même niveau que celles du groupe témoin à partir du 20^{ème} et 28^{ème} jour, respectivement. Cependant, des différences significatives dans les quantités d'énergie ingérées moyennes sont observées entre le groupe témoin et les groupes, P2 au 5^{ème} et 24^{ème} jour, et P1 au 14^{ème} jour. En moyenne (J₁₋₂₉), les quantités d'énergie ingérées moyennes sont significativement plus élevées ($p < 0.05$) dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin (7 et 11 %, respectivement) (**figure 23**).

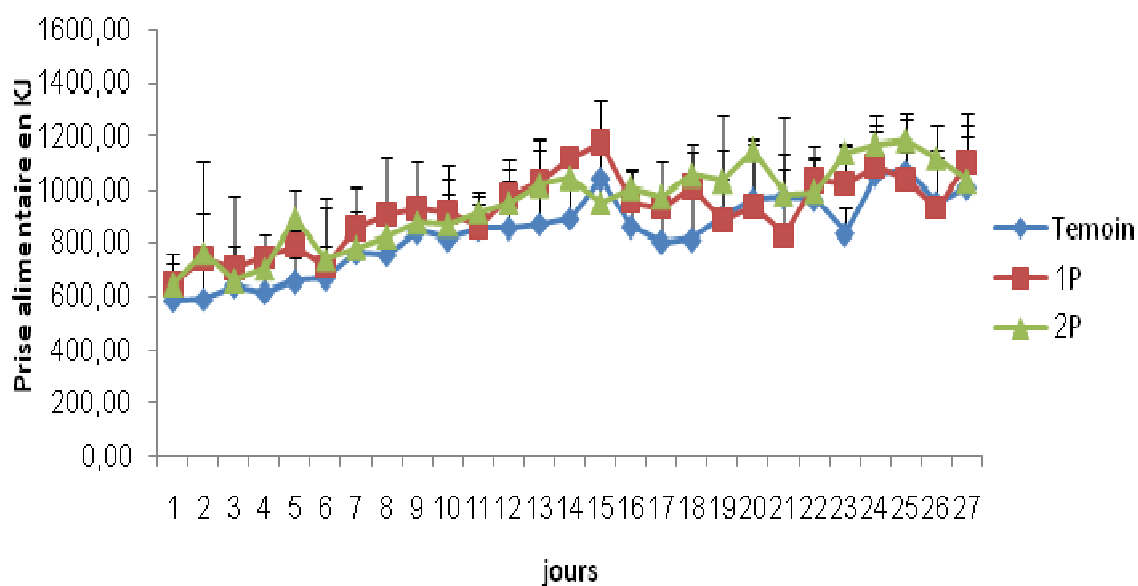


Figure 23. Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes de l'aliment standard (kJ) au cours de l'expérience, chez les lapins mâles des groupes P1, P2 et témoin.

- ❖ Enfin, en ajoutant l'énergie de la charge (68 kJ), on observe une augmentation significative des quantités d'énergie ingérées moyennes ($p < 0.05$) dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin, chez les mâles (jours 4, 5, 14 et 24) et (jours 5, 14, 15, 18 et 24), respectivement. Ainsi, en moyenne (J_{1-29}), on remarque une augmentation significative dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin (19 et 15 %, respectivement) (**figure 24**).

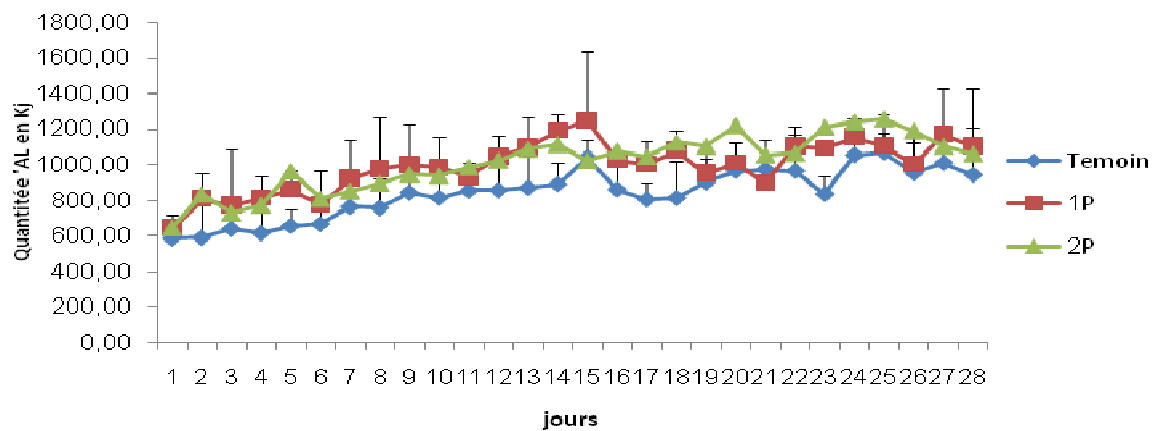


Figure 24 . Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes (\pm Std) de l'aliment standard (kJ) (plus l'énergie de la charge) au cours de l'expérience, chez les lapins mâles des groupes P1, P2 et témoin.

- ❖ Enfin, *la variation* des quantités d'énergie ingérées moyennes (charge comprise) entre le début et la fin de l'expérience montre une augmentation moindre dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin (57% et 53% vs 61%, respectivement) (**figure 25**). Toutefois, ces différences ne sont pas significatives.

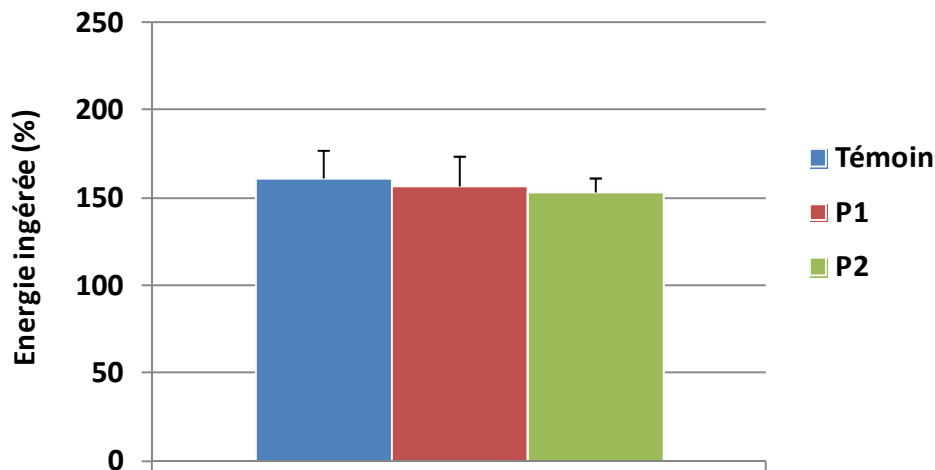


Figure 25 . Variation des quantités ingérées (%) moyennes (charge comprise), entre le début et la fin d'expérience dans les groupes témoin, P1 et P2, chez les lapins mâles.

b) Chez les lapins femelles

- ❖ Les quantités d'énergie ingérées moyennes évoluent légèrement en dessous du groupe témoin par périodes (J₈₋₁₄ et J₂₆₋₂₈). Ce qui, en moyenne, se traduit par une baisse significative ($p < 0.05$) dans les quantités d'énergie ingérées moyennes dans les groupes P1 et P2 par rapport au groupe témoin (7 et 10 %, respectivement) (**figure 26**).

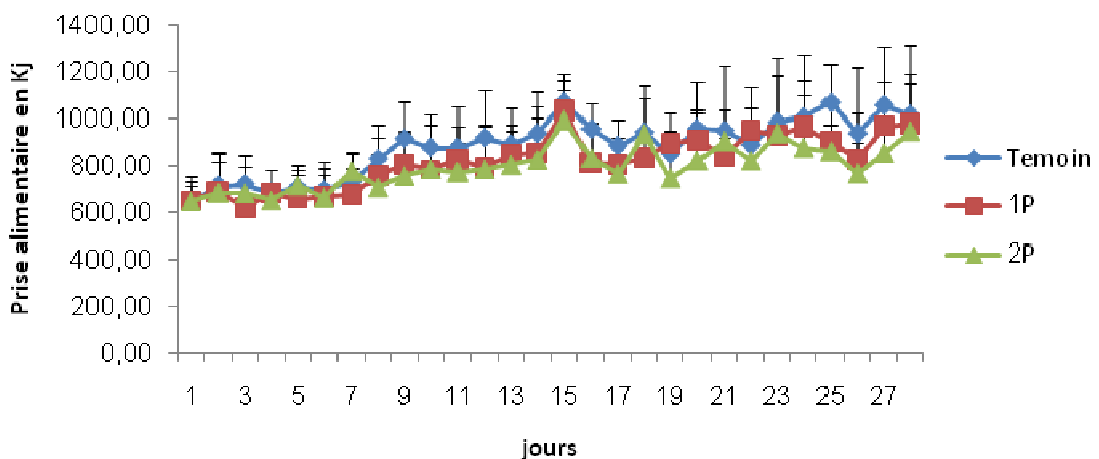


Figure 26. Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes de l'aliment standard (kJ) au cours de l'expérience, chez les lapins femelles des groupes P1, P2 et témoin.

❖ Lorsqu'on prend en compte, la charge, chez les femelles, par contre, on observe aucune différence significative des quantités d'énergie ingérées moyennes entre les groupes P1, P2 et le groupe témoin (**figure 27**).

❖ *La comparaison des quantités d'énergie ingérées dans les groupe P1 et P2, montre une augmentation significative, chez les mâles par rapport aux femelles (10 et 16 %, respectivement ; $p < 0.05$).*

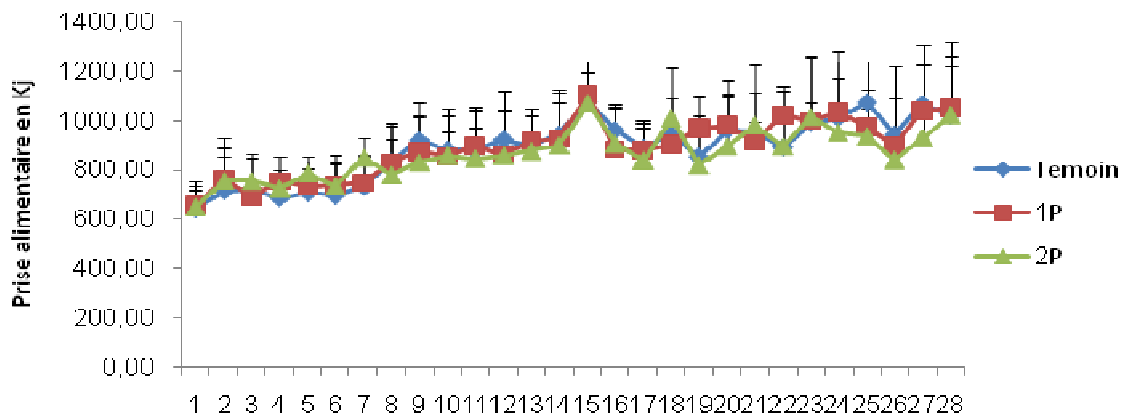


Figure 27. Evolution des quantités d'énergie ingérées moyennes (\pm Std) de l'aliment standard (kJ) (plus l'énergie de la charge) au cours de l'expérience, chez les lapins femelles des groupes P1, P2 et témoin.

❖ *La variation* des quantités d'énergie ingérées moyenne (charge comprise) entre le début et la fin de l'expérience, chez les lapins femelles, montre une augmentation moindre dans les groupes P2 par rapport au groupe témoin et au groupe P1 (31% *versus* 44% et 45%, respectivement) (**figure 28**). Toutefois, ces différences ne sont pas significatives.

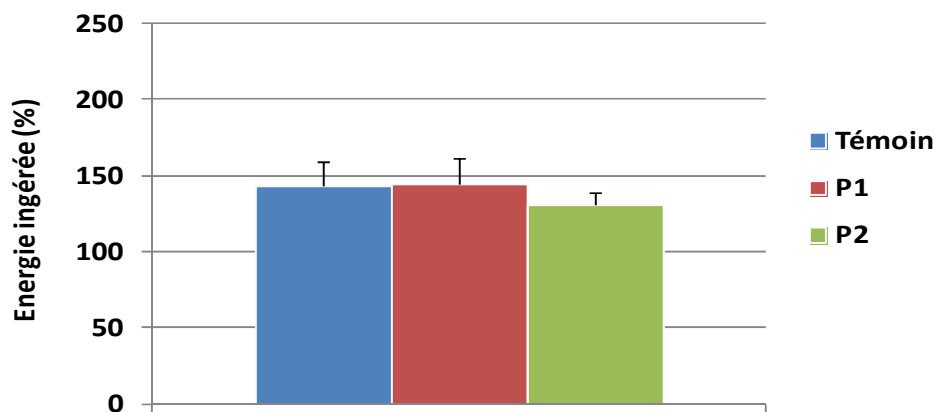


Figure 28. Variation des quantités ingérées (%) moyennes (charge comprise), entre le début et la fin d'expérience dans les groupes témoin, P1 et P2, chez les lapins femelles.

❖ *En comparant les moyennes de la consommation énergétique à 24h, sur toute la période d'expérience, on constate une différence significative ($p < 0.05$) entre les groupes P1 et P2 des mâles par rapport à ceux des femelles (9 et 15%, respectivement).*

3. La prise énergétique cumulée, gain de poids cumulé et efficacité énergétique

Le tableau 6 montre que la prise énergétique cumulée est significativement plus élevée chez les lapins mâles, ayant reçu les charges P1 et P2, se traduisant par une augmentation non significative du gain de poids cumulé, par rapport aux témoins. Ainsi, l'efficacité énergétique bien que légèrement plus élevée dans les groupes P1 et P2 par rapport aux témoins, elle reste non significative.

En revanche, chez les lapins femelles, la prise énergétique cumulée n'est pas différente entre les groupes ayant reçu les charges P1 et P2 par rapport aux témoins. Le gain de poids cumulé est moindre dans le groupe P1 ce qui se traduit par une efficacité énergétique légèrement plus élevée par rapport aux autres groupes. Toutefois, ces différences ne sont pas significatives.

Tableau 6 . Prise énergétique cumulée, gain de poids et efficacité énergétique dans les groupes témoins, P1 et P2, chez les lapins mâles et femelles.

		Témoin	P1	P2
Mâles	Prise énergétique cumulée (MJ)	23,4 ± 1,5	28,3 ± 2,0	27,9 ± 1,4
	Gain de poids cumulé (g)	670,3 ± 68	732,8 ± 151,5	708,2 ± 70,6
	Efficacité énergétique (g/kJ)	36,6 ± 6,1	43,1 ± 9,8	39,7 ± 2,4
Femelles	Prise énergétique cumulée (MJ)	24,5 ± 2,1	24,04 ± 1,6	24,7 ± 1,2
	Gain de poids (g)	731,1 ± 71,9	688,3 ± 103,8	757,3 ± 66,3
	Efficacité énergétique (g/kJ)	33,8 ± 1,4	37,2 ± 5,0	33,7 ± 3,9

B. Le poids corporel

1. Evolution du poids corporel hebdomadaire

Concernant le poids corporel, on observe une augmentation régulière dans les groupes P1, P2 et témoin sans différences significatives entre les trois groupes, chez les mâles et chez les femelles (**figure 29 et 30**). Aucune différence significative, non plus, dans le poids n'a été enregistrée entre les mâles et les femelles.

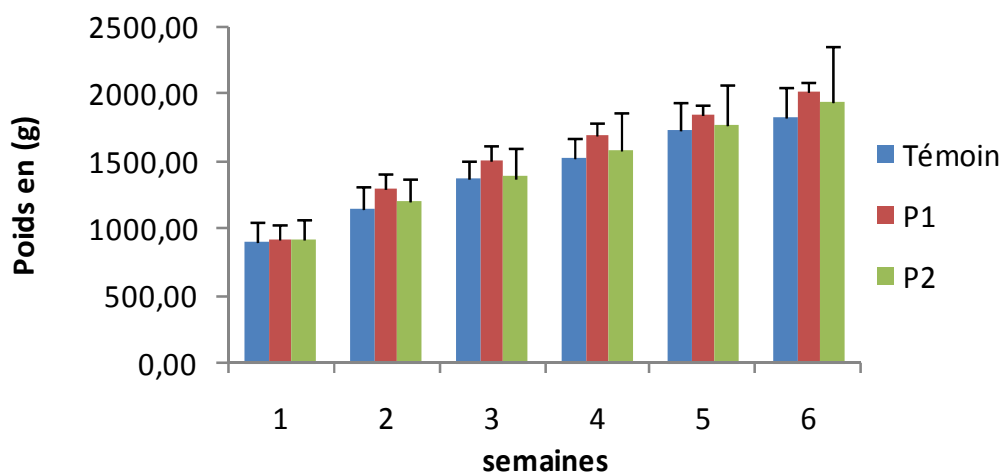


Figure 29. Evolution du poids corporel hebdomadaire, pendant l'expérience, chez les lapins mâles.

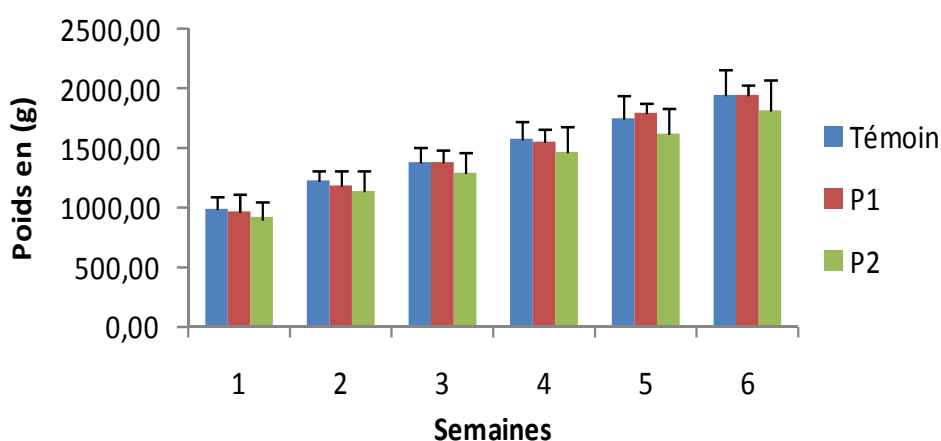


Figure 30. Evolution du poids corporel hebdomadaire, pendant l'expérience, chez les lapins femelles.

2. Evolution du gain de poids hebdomadaire cumulé

Concernant l'évolution du gain poids cumulé, on constate qu'il évolue de la même façon dans les trois groupes P1, P2 et témoin, pendant les six semaines. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les mâles et les femelles (**figure 31 et 32**).

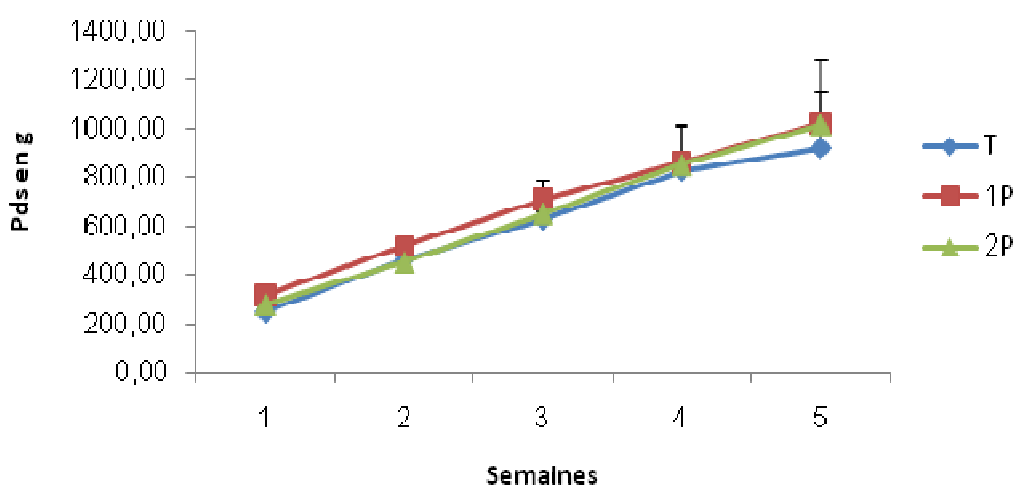


Figure 31. Evolution du gain de poids hebdomadaire cumulé chez les lapins mâles.

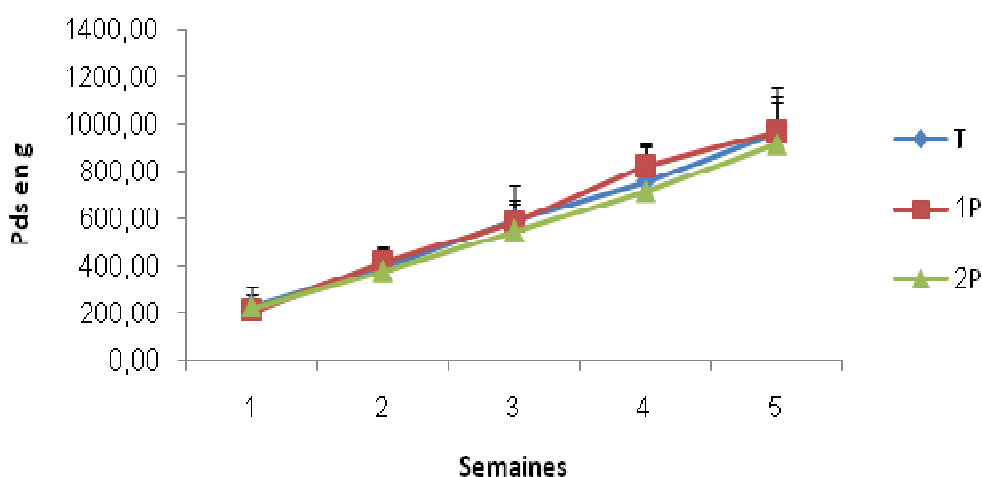


Figure 32. Evolution du gain de poids hebdomadaire cumulé chez les femelles.

C. La composition corporelle

1. Le poids avant et après l'abattage

Chez les mâles, les lapins du groupe P2 ont un poids plus élevé que ceux du groupe P1 et ceux des témoins, respectivement. Toutefois, ces différences restent non significatives. Après abattage, les poids enregistrent une baisse non significative, de 3 à 4 %, dans les trois groupes de lapins. Le poids légèrement plus élevé dans le groupe P2 par rapport aux groupes P1 et témoin n'est pas significative. Chez les femelles, le poids du groupe P2 diminue de façon non significative par rapport aux groupes témoin et P1, respectivement. Après abattage, les poids enregistrent une baisse non significative (2,6 à 4,5 %), dans les trois groupes de lapins (**tableau 7**).

2. Carcasse, tissu adipeux blanc (TAB) et indice d'adiposité

Le tableau ne montre pas de différences significatives du rapport carcasse/poids corporel entre les groupes témoins, P1 et P2 chez les mâles et chez les femelles. De même, on n'observe pas de différences significatives du rapport TAB/poids corporel entre les groupes témoins, P1 et P2 chez les mâles. Chez les femelles, par contre, les lapins ayant reçu les charges P1 et P2 accumulent plus de TAB que les témoins se traduisant par un indice d'adiposité significativement plus élevée dans ces groupes que chez les témoins.

Tableau 7 . Carcasse, TAB et indice d'adiposité dans les groupes témoin, P1 et P2, chez les lapins mâles et femelles.

		Témoin	P1	P2
Carcasse (g/100g poids corporel)	<i>Mâles</i>	63,14 ± 9,5	66,8±6,8	63 ± 5,5
	<i>Femelles</i>	62,15 ± 0,55	62,3 ±0,46	63,3±0,56
TAB (g/100g poids corporel)	<i>Mâles</i>	4,95 ± 1,04	5,34 ± 2,06	4,89 ± 0,94
	<i>Femelles</i>	4,96 ±1,81	8,5 ±1,95	6,71 ±1,84
Indice d'adiposité (g TAB/100g carcasse)	<i>Mâles</i>	7,84 ± 0,1	8,0 ± 0,3	7,77 ± 0,17
	<i>Femelles</i>	7,98 ± 0,35	13,64 ± 0,46	10,6 ± 0,18

3. La masse maigre

Aussi bien chez les lapins mâles que femelles, le rapport de la masse maigre par 100g de poids corporel ne diffère pas de façon significative entre les groupes P1, P2 et témoins (**tableau 8**).

Tableau 8. Le poids corporel et le poids des organes (par 100g de PAA) chez les lapins mâles et femelles, témoins et ceux ayant reçu les charges P1 et P2 après 30 jours d'expérience.

	Témoins		P1		P2	
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
PI	905,5±140	988±100,4	926,4±109,8	974,2±145,9	926,57±147	911,9±140
PF	1959,1±283,4	1954,2±204,1	1964,3±130,4	1934,4±82,4	2113,5±153,3	1827,9±248,5
PAA	1897,9±252,8	1987,05±183,8	1902,04±123,4	1997,9±112,7	2038,1±140,2	1907,17±218,3
Rate	0,04 ± 0,007	0,06±0,16	0,04±0,25	0,06±0,31	0,03±0,14	0,09±0,28
Foie	3,20 ± 1,65	3,56±4,24	3,59±6,86	3,25±5,6	3,10±4,09	3,54±5,46
Cœur	0,26 ± 0,67	0,26±0,84	0,27±0,31	0,26±0,91	0,23±0,24	0,28±0,44
Reins	0,54 ± 0,10	0,53±0,33	0,58±1,43	0,53±1,68	0,56±1,27	0,61±0,89
MM	67,2± 9,8	66,6±5,6	71,3±7,4	66,4±3,1	66,9±5,9	67,8±7,2

PI: Poids initial, **PF:** poids final, **PAA:** Poids après abattage, **MM:** Masse maigre.

a) *Le tissu adipeux brun inter-scapulaire*

Chez les mâles, il n'y a pas de différence significative entre les groupes, bien que le groupe P1 à la quantité la plus élevée du TA que les groupes témoin et P2, respectivement. Chez les femelles, est légèrement, plus important dans le groupe P1 et moins important dans le groupe P2 par rapport au groupe témoin.

b) Tissu adipeux périrénal

Cette courbe montre une tendance différente entre les mâles et les femelles à accumuler la graisse périrénale. En effet, elle tend vers l'augmentation chez les mâles, P1 puis P2, contrairement aux femelles pour lesquelles, on observe une diminution P1 puis P2.

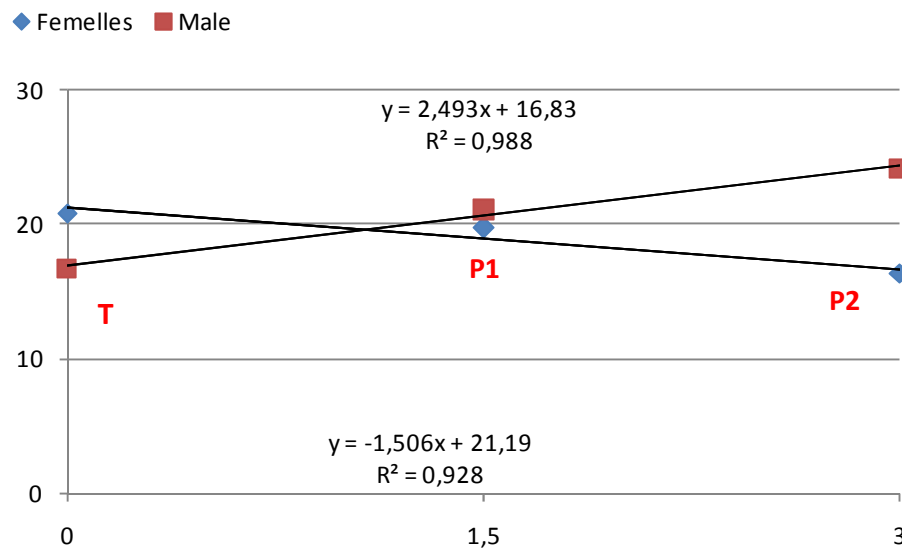


Figure 33. Tendance linéaire du tissu adipeux périrénal des lapins mâles et femelles.

c) La peau

Chez les mâles, le poids de la peau est presque le même dans les trois groupes. Chez les femelles, elle est légèrement plus faible dans le groupe P2 par aux autres groupes.

VI. Discussion

Le but de cette étude a été la mise en évidence d'un éventuel effet de l'ingestion de charges de protéines de lactosérum sur l'énergie ingérée et ses conséquences sur le poids corporel et l'adiposité chez le lapin.

Ce travail a été conçu pour vérifier si, chez le lapin, un repas hyperprotéique induirait un effet satiétogène.

Les résultats de ce travail montrent que l'ingestion de charges protéiques P1 (1,5g) et P2 (3g) se traduit par des modifications des quantités d'énergie ingérées dans l'heure et les 24 heures qui suivent la présentation de l'aliment standard. De plus, cette réponse semble évoluer de jour en jour pendant l'expérience. Ceci s'accompagne de changements dans le poids et la composition corporelle en fin d'expérience.

Lors des 3 premiers jours de l'expérience (j₁₋₃), les charges protéiques P1 (50%) et P2 (100%) induisent une baisse de la prise alimentaire moyenne de 42 et 44 %, respectivement, par aux témoins, dans l'heure qui suit la présentation de l'aliment standard chez les lapins mâles. De même, chez les lapins femelles, les deux charges P1 et P2 entraînent une baisse lors de la 1^{ère} heure, mais beaucoup plus prononcée (71 et 87 %, respectivement). Toutefois, cet effet des charges P1 et P2 disparaît dans les 24 heures suivantes. Cet effet aigu des protéines du lactosérum sur la prise énergétique, à 1 heure dans notre étude, confirme ce qui a été rapportée chez d'autres espèces (ex. rat...). La nature de cette baisse de prise alimentaire est attribuée au pouvoir satiétogène qu'exerceraient les PLS (Bensaid, 2003). Ces dernières stimuleraient la satiété, à court terme, via l'action des peptides produits de la digestion qui entraînent une augmentation, au niveau gastro-intestinal et plasmatique de la concentration de facteurs satiétogènes, tels que les acides aminés, polypeptide insulino-tropique glucose-dépendant, GLP-1 et la CCK (Anderson 2004 & Nilsson, 2007).

Lors des 3 derniers jours de l'expérience (j₂₇₋₂₉), l'effet des charges P1 et P2 disparaît chez les lapins mâles et se maintient chez les lapins femelles (40 et 63 %, respectivement), à l'issue de la 1^{ère} heure. Lors des 24 heures, seule la charge P2, chez les lapins femelles, maintient une baisse de la prise alimentaire (14 %). Toutefois, notre étude n'a pas montré d'effet de charge de PLS sur la satiété au-delà de 1 heure, par exemple à 24 heures, comme l'ont montré d'autres auteurs (Geliebter, 1979; Anderson, 1994; Bensaid, 2001). Puisque les effets décrits de la protéine du lactosérum ont été observés dans les

expériences quand cette protéine est consommée en quantités beaucoup plus élevées (Luhovyy, 2007), les quantités de protéines, utilisée dans notre étude (1,5 et 3 g ; 68,41 kJ) pourraient être insuffisantes pour induire un tel effet. De plus, la comparaison entre toutes ces études portées sur la satiété protéique est peu aisée du fait de la diversité des protocoles employés. En effet, plusieurs paramètres semblent grandement influencer les résultats tels que le type de charges administrées (texture de la charge, type d'aliment), sa valeur énergétique, sa composition en macronutriments (proportion et quantité de chaque macronutriment), le délai entre la charge ou encore le sexe et l'âge des individus (Reid & Hetherington, 1997 ; Fromentin, 2011).

En termes de *compensation énergétique*, la prise en compte de l'énergie de la charge ingérée, montre que les lapins mâles surcompensent leur prise énergétique lors des 24 heures. En effet, les quantités d'énergie ingérées moyennes sont significativement plus élevées ($p < 0.05$) dans les groupes ayant reçu les charges P1 et P2 par rapport au groupe témoin, au début (145%, 139%, respectivement) et à la fin de l'expérience (168 et 157%, respectivement). Cette augmentation de la prise énergétique totale enregistrée chez les lapins mâles ayant reçu des charges protéiques, bien qu'elle n'entraîne pas de différences significatives dans la variation de la prise énergétique quotidienne, entre le début et la fin de l'expérience, dans chacun des trois groupes de lapins, est d'autant plus difficile à interpréter que le niveau d'ingestion est individuellement très variable chez les lapins mâles utilisés. De plus, cette surconsommation ne s'accompagne pas d'un effet significatif au niveau de l'efficacité énergétique.

L'ajustement énergétique est une capacité que les animaux monogastriques possèdent. De telle sorte qu'un accroissement de la concentration énergétique de l'aliment peut ainsi se traduire par une réduction de la quantité ingérée et inversement, de telle sorte que l'énergie ingérée varie peu. Mais la consommation est aussi en partie influencée par la teneur en protéine et en acides aminés essentiels de l'aliment (Bensaid, 2003).

A l'issue de 30 jours d'expérience, les charges, à teneur protéique croissante, ne semble pas modifier de façon significative le poids corporel.

Au niveau de la composition corporelle, on n'observe pas d'effet des charges protéiques sur la masse maigre chez les lapins mâles et femelles. Si la supplémentation protéique, dans le cadre de charges HP, maintient la masse maigre des lapins, il est de même des régimes HP chez l'homme. Les protéines laitières, par rapport aux protéines de

viande ou végétales, contiennent des niveaux beaucoup plus élevés acides aminés à chaînes ramifiées, en particulier la leucine, ce qui a été proposé comme étant un avantage dans la régulation de la prise alimentaire et le maintien de la masse maigre. Toutefois, il paraît par contre que la combinaison exercice/régime hyperprotéique promeut la rétention azotée, à condition que l'apport énergétique soit satisfaisant (Metges & Barth, 2000). En effet, une alimentation riche en protéines résulte initialement en une rétention protéique accrue, avec un recyclage plus important des protéines corporelles.

Concernant l'indice d'adiposité, il semble qu'elle augmente significativement chez les lapins femelles ayant reçus les charges protéiques malgré qu'elles ajustent mieux leur prise énergétique par rapport aux lapins mâles. Cette accumulation significative de tissu adipeux chez les femelles P1 et P2 par rapport aux témoins ($10,6 \pm 0,18$ et $13,64 \pm 0,46$ versus $7,98 \pm 0,35$, respectivement ; $p < 0,05$) pourrait être due à la relation positive qui existe entre les hormones sexuelles et l'adiposité chez les femelles...

La vitesse de croissance des groupes mâles soumis à la charge protéique P1, P2 semble plus rapide que celle des groupes femelles qu'on peut l'expliquer par l'augmentation significative de leur énergie ingérée de 10%, 16% respectivement.

En ce qui concerne le tissu adipeux périrénal, nos résultats ont montré une tendance à l'augmentation chez les mâles et à la baisse chez les femelles en fonction de la quantité protéique de la charge. Ce résultat est différent de celui d'Ohayoun (1979). Cette différence, pourrait être liée au fait que nos animaux ont été soumis à une charge et non à un régime riche en protéines. L'évolution du tissu adipeux périrénal dans les deux sexes pourrait devenir significative au delà de 11 semaines (Ohayoun et al, 1979).significativité.

VII. Conclusion et perspectives

Le but de ce travail a été l'étude de l'effet de la teneur de charges en protéines de lactosérum sur l'énergie ingérée quotidienne, le poids corporel et l'adiposité chez des lapins soumis à un régime standard, *ad-libitum*, pendant 30 jours.

Nos résultats ont montré que la prise de la charge protéique induit une dépression de la prise alimentaire une heure suivant la présentation de l'aliment standard chez les lapins des deux sexes. Toutefois, cette baisse est compensée en 24 heures, chez les femelles est surcompensée chez les mâles. Cet effet disparaît chez les mâles et persiste chez les femelles en fin d'expérience.

Ainsi, les charges de protéines de lactosérum utilisées ne semblent pas induire un effet satiétogène chez les lapins.

Les consommations énergétiques moyennes des lapins mâles, ayant reçu les charges P1 et P2 sont significativement plus élevées que celles des femelles mais ne donnent aucune différence significative ni dans le poids corporel/TAB ni dans la masse maigre, sauf que des tendances chez les mâles à accumuler plus de tissu adipeux périrénal tout en augmentant la concentration en protéine de la charge contrairement aux femelles où cette accumulation diminue tout en augmentant la charge.

En perspective, il serait intéressant d'utiliser des concentrations protéiques plus élevées afin de pouvoir mieux exprimer l'effet satiétogène de la charge et allonger la durée expérimentale au delà de douze semaines, la période où la graisse périrénal meilleur prédicteur sur l'adiposité de la carcasse chez les lapins commence à s'accumuler. Enfin, il serait intéressant d'étudier l'effet de ces charges sur la cholestérolémie et la triglycémie.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Anderson, G. H. et al. (2004). "Protein source, quantity, and time of consumption determine the effect of proteins on short-term food intake in young men." *J Nutr.*(11) **134**(11): 3011-3015.
- (2) Anderson, G. H. et M. Shannon. Moore (2012). "The Emerging Role of Dairy Proteins and Bioactive Peptides in Nutrition and Health." *The Journal of Nutrition* **134**: 974S-979S.
- (3) Anderson j. W., Jones a. E et Ridell-mason s (1994). "Ten different dietary fibers have significantly different effects on serum and liver lipids on cholesterol-fed rats." *Am. J. Nutr* **124**: 78-83.
- (4) Araya H., Hills J., Alvina M et Vera G (2000). "Short-term satiety in preschool children: a comparison between high protein meal and a high complex carbohydrate meal." *Int J Food Sci Nutr* **51**: 119-124.
- (5) Baba NH., Sawaya S., Torbay N., Habbal Z., Azar S et Ashim SA (1999). "High protein vs high carbohydrate hypoenergetic diet for the treatment of obese hyperinsulinemic subjects." *Int J Obes Relat Metab Disord* **23**: 1202-1206.
- (6) Barone, R. (1984). *anatomie comparée des mammifères domestiques, tome 3 splanchnologie I VIGOT1*.
- (7) Batterham R.L., Heffron H., Kapoor S., Chivers J.E., Chandarana K., Herzog H., Le Roux C.W., Thomas E.L., Bell J.D et Withers D.J. (2006). "Critical role for peptide YY in protein-mediated satiation and body-weight regulation." *Cell metabolism* **4**: 223-233.
- (8) Bellier R., Gidenne T., Vernay M. et Colin M. (1995). "In vivo study of circadian variations of the cecal fermentation pattern in postweaned and adult rabbits. ." *Journal of Animal Science* **73**: 128-135.
- (9) bellier, R. et T. gidenne (1996). "Consequences of reduced fibre intake on digestion, rate of passage and caecal microbial activity in the young rabbit." *British Journal of Nutrition*(75): 353-363.
- (10) bensaïd, A. (2003). *Role of Conditioned Taste Aversion and Satiety in the Depression of the Energy Intake induced by the High Protein Diet in the Rat. INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON. Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon: 162.*
- (11) Bensaïd A., Tome D., Gietzen D., Even P., Morens C., Gausseres N et Fromentin G (2002). "Protein is more potent than carbohydrate for reducing appetite in rats." *Physiol Behav* **75**(4): 577-582.
- (12) Berthoud H.R. (2008). "Vagal and hormonal gut-brain communication: from satiation to satisfaction." *Neurogastroenterol Motil* **20** Suppl **1**: 64-72.
- (13) Blundell J.E et Stubbs R.J (1999). "High and low carbohydrate and fat intakes: limits imposed by appetite and palatability and their implications for energy balance." *Eur J Clin Nutr* **53** Suppl **1**: S148-165.
- (14) Boirie Y et al. (1997). "Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **94**: 14930-14935.

- (15) Bowen, J. et E. al. (2006). "Appetite regulatory hormone responses to various dietary proteins differ by body mass index status despite similar reductions in ad libitum energy intake." *J Clin Endocrinol Metab* **91**(8): 2913-2919.
- (16) Carabaño, R. et J. Piquer (1998). *The digestive system of the rabbit*, Publishing edn : Wallingford, United Kingdom Vol. Chapter 1, CABI
- (17) Cheek P.R (1987). *Rabbit feeding and nutrition*. academic press Inc,376.
- (18) Choi Y.H., Fletcher P.J et Anderson G.H. (2001). "Extracellular amino acid profiles in the paraventricular nucleus of the rat hypothalamus are influenced by diet composition " *Brain Res* **892**: 320-328.
- (19) Corring T et Rérat A. (1983). *Digestion and absorption of nutrients*. In *A survey of enzymatic digestion in simple-stomached animals*. Bern, Suisse: H. Bickel et Y. Schutz Eds.
- (20) Cota D., Proulx K., Smith K.A., Kozma S.C., Thomas G., Woods S.C et Seeley R.J. (2006). "Hypothalamic mTOR signaling regulates food intake., ." *Science (New York, N.Y)* **312**: 927-930.
- (21) Darcel N.P., Liou A.P., Tome D et Raybould H.E. (2005). "Activation of vagal afferents in the rat duodenum by protein digests requires PepT1." *The Journal of nutrition* **135**: 1491-1495.
- (22) Faipoux, R. (2007). *Caractérisation de l'effet satiétogène des protéines et mécanismes centraux impliqués: cas particulier des protéines et peptides de levure.*, INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON **Doctortat**: 273.
- (23) Fekete, S. et J. Bokori (1985). "The effect of the fiber and protein level of the ration upon the cecotrophy of rabbit." *Journal of Applied Rabbit Research* **8**(2): 68-71.
- (24) Fraga, M. J., P. P. De Ayala., R. Carabaño et J. C. De Blas (1991). "Effect of type of fiber on the rate of passage and on the contribution of soft feces to nutrient intake of finishing rabbits." *Journal of Animal Science* **69**: 1566-1574.
- (25) Fromentin, G. et E. al. (2011). "Protéines laitières et satiété, contrôle du comportement alimentaire " *Innovations Agronomiques* **13**: 57-70.
- (26) Gidenne T et Lebas F (1984). "Evolution circadienne du contenu digestif chez le lapin en croissance. Relation avec la caecotrophie." *Proc. 3rd the World Rabbit Congress* **2**: 494-501.
- (27) Gidenne T., Lebas F. et Fortun-Lamothe L. (2010). "Feeding behaviour in rabbits." *nutrition of rabbit*: 233-252.
- (28) Gidenne, T. et F. Lebas (1987). "Estimation quantitative de la caecotrophie chez le lapin en croissance : variations en fonction de l'âge." *Ann Zootech* **36**(3): 225-336.
- (29) Gidenne, T. et F. Lebas (2005). "Comportement alimentaire." *11èmes Journées de la Recherche Cunicole*,Paris: 183-196.
- (30) Hall W.L., Millward D.J., Long S.J et Morgan L.M. (2003). "Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite." *The British journal of nutrition* **89**: 239-248.

- (31) Harper A.E et Peters J.C. (1989). "Protein intake, brain amino acid acid and serotonin concentrations and protein self-selection." *American journal of nutrition* **119**: 677-689.
- (32) Kimse, M. (2009). Caractérisation de l'écosystème caecal et sante digestive du lapin: contrôle nutritionnel et interactions avec la levure pro-biotique *saccharomyces cerevisiae*. Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse. **Doctorat de l'universite de Toulouse**: 246.
- (33) L'Heureux-Bouron D., Tome D., Bensaid A., L. M. Morens C., Huneau J.F. et Fromentin G. (2004). "Preabsorptive factors are not the main determinants of intake depression induced by a high-protein diet in the rat." *Physiology & behavior* **81**: 499-504.
- (34) Lacroix , M. (2008). Variations qualitatives & quantitatives de l'apport en protéines laitières chez l'animal & l'homme : implications métaboliques. ISIVE, Agroparistech. **Docteur**: 183.
- (35) Lacroix M., Bos C., Leonil J et e. al. (2006). "Compared with casein or total milk protein, digestion of milk soluble proteins is too rapid to sustain the anabolic postprandial amino acid requirement." *Am J Clin Nutr* **84**: 1070-1079.
- (36) Laplace J.P., Lebas F. et Rioperez J. (1974). "Le transit digestif chez le lapin." *journal de physiologie (Paris)* **69**(1): 22.
- (37) Latham C.J et Blundell J.E. (1979). "Evidence for the effect of tryptophan on the pattern of food consumption in free feeding and food deprived rats." *Life sciences* **24**: 1971-1978.
- (38) Lebas, F. (1973). "Possibilités d'alimentation du lapin en croissance avec des régimes présentés sous forme de farine." *Ann. Zootech.* **22**(2): 249-251.
- (39) Lebas, F. (1989). "Besoins nutritionnels du lapin." *cuni-science* **5**(2): 1-28.
- (40) Lebas, F. (2009). "Alimentation et santé digestive chez le lapin." *Cuniculture Magazine* **33**: 63-70.
- (41) Lebas H., Coudert P., De rochambeau H. et Thebault R.G (1997). *The Rabbit - Husbandry, Health and Production* (2d edition)., FAO publ.,Rome,223.
- (42) Marie Reid et Marion Hetherington (1997). "Relative effects of carbohydrates and protein on satiety— a review of methodology." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* **21**(3): 295-308.
- (43) Marounek M., Vovk S.J. et Skřivanová V. (1995). "Distribution of activity of hydrolytic enzymes in the digestive tract of rabbits. ." *British Journal of Nutrition* **73**(3): 463-469.
- (44) Martignon, M. (2010). Conséquences d'un contrôle de l'ingestion sur la physiopathologie digestive et le comportement alimentaire du lapin en croissance, Toulouse. **Doctorat de l'universite de Toulouse** 194.
- (45) Martinsen T., Bergh C.K. et Waldum H. L. (2005). "Gastric juice: A barrier against infectious diseases." *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology* **96**(2): 94-102.
- (46) Mellinkoff S.M., Frankland M., Boyle D et Greipel M. (1956). "Relationship between serum amino acid concentration and fluctuations in appetite." *J Appl Physiol* **8**: 535-538.

- (47) Michelland, R. (2009). Caractérisation moléculaire des procaryotes et facteurs de variation des écosystèmes digestifs chez deux mammifères herbivores: approche comparée vache/lapin, Toulouse. **Doctorat de l'université de Toulouse**: 364.
- (48) Moran, L. J. et e. al. (2004). "Ghrelin and measures of satiety are altered in polycystic ovary syndrome but not differentially affected by diet composition." *J Clin Endocrinol Metab* **89**(7): 3337-3344.
- (49) Moreau H., Gargouri Y., Lecat D., Junien J.L. et Verger R. (1988). "Screening of preduodenal lipases in several mammals. ." *Biochimica et Biophysica Acta*: 959: 247-252.
- (50) Nilsson M et e. al. (2007). "Metabolic effects of amino acid mixtures and whey protein in healthy subjects: studies using glucose-equivalent drinks " *Am J Clin Nutr* **85**(4): 996-1004.
- (51) Ohayoun J., Delmas P et Lebas F. (1979). "Influence du taux proteique de la ration sur la composition corporelle du lapin." *ann Zootech* **28**(4): 453-458.
- (52) Ohayoun. J (1989). "La composition corporelle du lapin." *INRA Prod. Anim* **2**(3).
- (53) Pairet M., Bouyssou T. et Ruckebusch Y. (1986). "Colonic formation of soft feces in rabbits : a role for endogenous prostaglandins." *American Journal of Physiology* **250**: 302-308.
- (54) Peters JC et Harper AE (1987). "Acute effects of dietary protein on food intake, tissue amino acids, and brain serotonin." *Am J Physiol* **252**: R902-R914.
- (55) Pichon L., Potier M., Tome D., Mikogami T., Laplaize B., Martin-Rouas C et Fromentin G (2008). "Highprotein diets containing different milk protein fractions differently influence energy intake and adiposity in the rat." *The British journal of nutrition* **99**: 739-748.
- (56) Poppitt, S. D. et e. al (1998). "Short-term effects of macronutrient preloads on appetite and energy intake in lean women." *Physiol Behav* **64**(3): 279-285.
- (57) Porrini, M. et e. al. (1997). "Weight, protein, fat, and timing of preloads affect food intake." *Physiol Behav* **62**(3): 563-570.
- (58) Portsmouth J (1997). "The nutrition of rabbit. In *Nutritional and climatic environment*," Butterworths, editor. London: UK.: 93-111.
- (59) Powley T.L et Phillips R.J. (2004). "Gastric satiation is volumetric, intestinal satiation is nutritive. ." *Physiology & behavior* **82**: 69-74.
- (60) Proto, V. (1965). *Esperienze di coprografia nel coniglio* *Productions Animales*4. 1-21.
- (61) Prud'hon M., Chérubin M., Goussopoulos J. et Carles Y. (1975). "Evolution, au cours de la croissance, des caractéristiques de la consommation d'aliments solide et liquide du lapin domestique nourri ad libitum." *Annales de zootechnie* **24**(2): 289-298.
- (62) Raybould H.E., Holzer P., Thieffn G., Holzer H.H., Yoneda M et Tache Y.F. (1991). "Vagal afferent innervation and regulation of gastric function." *Adv Exp Med Biol* **298**: 109-127.

- (63) Rolls B.J., Hetherington M et Burley V.J (1988). "The specificity of satiety: the influence of foods of different macronutrient content on the development of satiety." *Physiology & behavior* **43**: 145-153.
- (64) Snipes RL et W. A. Clauss W., Hörnicke H., (1982). "Structural and functional differences in various divisions of rabbit colon." *Cell & Tissue Research*: 331-346.
- (65) Teff, K. L., S. N. Young et J. E. Blundell (1989). "The effect of protein or carbohydrate breakfasts on subsequent plasma amino acid levels, satiety and nutrient selection in normal males." *Pharmacol Biochem Behav* **34**(4): 829-837.
- (66) Trigazis, L., A. Orttmann et G. H. Anderson (1997). "Effect of a cholecystokinin-A receptor blocker on protein-induced food intake suppression in rats." *Am J Physiol.*: **272**(6 Pt 2): R1826-1833.
- (67) Vernay M et Raynaud P. (1975). "Répartition des acides gras volatils dans le tube digestif du lapin domestique. 1) Lapins alimentés en luzerne et en avoine." *Annales de Recherches Vétérinaires* **6**: 357-368.
- (68) Westerterp-Plantenga M.S (2008). "Protein intake and energy balance." *Regul Pept* **149**: 67-69.
- (69) Westerterp KR (2004). "Diet induced thermogenesis." *Nutr Metab (Lond)* **1**: 5.

ANNEXES

Tableau 9. Poids des différents paramètres de la carcasse chez les males (en gramme).

	Male					
	T	Ecart	P1	ecart	P2	Ecart
<i>poids avant l'abattage</i>	1959,05	283,43	1964,26	130,17	2113,03	153,30
<i>poids après l'abattage</i>	1897,94	252,81	1902,04	123,38	2038,07	140,21
<i>poids des organes</i>	63,07	3,21	67,02	8,31	62,94	2,22
rate	0,91	0,20	0,92	0,31	0,81	0,20
foie	60,85	4,18	68,32	8,47	63,21	5,74
cœur	5,11	1,71	5,26	0,39	4,86	0,35
reins	10,27	0,26	11,10	1,77	11,49	1,79
<i>tissu adipeux blanc</i>	94,02	19,77	101,73	39,28	99,77	19,35
sous cutané	41,26	12,03	45,06	19,45	47,45	13,63
inguinal	9,87	3,90	10,50	3,42	5,69	1,55
retropéritonéal	5,11	2,64	3,63	1,92	4,71	1,42
mésentérique	21,19	8,15	21,50	6,88	17,84	4,27
périrénal	16,60	7,72	21,04	8,63	24,08	4,41
indice de l'adiposité	0,08	0,02	0,08	0,04	0,08	0,01
interscapulaire	14,46	6,46	21,89	18,94	9,70	2,58
<i>peau</i>	231,41	30,09	238,32	15,66	271,25	42,24
<i>stripped carcasse (avec tete) Sans peau, sang</i>	1198,32	180,14	1270,98	129,93	1283,48	111,76
<i>tete</i>	112,91	13,18	112,48	1,71	113,80	9,93
<i>reste (poumon, trachee, vissie, tymus)</i>	47,12	62,11	17,95	1,39	18,36	3,86
estomac plein	89,52	24,99	62,45	44,29	76,40	8,09
tube digestif (estomac, intestins)	228,54	45,73	190,23	39,47	243,30	27,87
poids du carcasse froide (apres 24h a 4°C)	1043,86	209,76	1036,97	132,96	1105,17	105,40
tete froide	111,99	13,03	111,76	1,69	113,00	10,05

Tableau 10. Poids des différents paramètres de la carcasse chez les femelles (en gramme).

	Femelle					
	T	Ecart	P1	Ecart	P2	Ecart
<i>poids avant l'abattage</i>	2059,50	201,18	2081,28	110,67	1957,52	232,03
<i>poids après l'abattage</i>	1987,05	183,86	1997,98	112,77	1907,17	218,34
<i>poids des organes</i>	62,22	1,70	62,37	2,14	63,36	1,07
rate	1,22	0,31	1,27	0,35	1,74	0,62
foie	70,89	7,79	65,13	6,32	67,51	11,92
cœur	5,23	1,55	5,32	1,03	5,38	0,98
reins	10,59	0,62	10,67	1,90	11,72	1,96
<i>tissu adipeux blanc</i>	98,71	36,14	105,81	24,28	81,00	22,22
sous cutané	41,31	14,97	46,31	12,11	33,67	8,87
inguinal	9,52	3,47	10,71	3,61	9,31	2,36
retropéritonéal	4,81	3,29	6,85	5,13	5,52	3,20
mésentérique	22,24	9,54	22,28	3,88	16,19	4,96
péritoneal	20,83	9,52	19,66	8,26	16,31	8,40
indice de l'adiposité	0,08	0,02	0,09	0,02	0,07	0,01
interscapulaire	9,04	2,46	13,25	4,64	8,54	3,47
<i>peau</i>	236,74	33,61	231,09	34,39	216,51	35,63
<i>stripped carcasse (avec tete)Sans peau,sang</i>	1234,97	101,90	1244,77	52,59	1206,91	122,19
<i>tete</i>	108,31	7,06	108,10	8,92	105,16	5,85
<i>reste (poumon,trachee,vissie,tymus)</i>	15,99	3,22	16,82	3,06	15,92	1,43
estomac plein	92,29	15,07	122,48	63,89	85,98	13,47
tube digestif (estomac,intestins)	231,77	26,20	201,09	91,03	221,92	39,12
poids du carcasse froide (apres 24h a 4°C)	1129,02	95,91	1141,85	51,41	1100,72	118,59
tete froide	107,35	7,20	106,39	8,29	103,39	5,35