

Valeurs énergétique et protéique des feuilles de luzerne chez le porc en croissance

David RENAUDEAU (1), Marek DUPUTEL (2), Eric JUNCKER (3), Catherine CALVAR (4)

(1) PEGASE, INRAE, Agrocampus-Ouest, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Chambres d'agriculture de Bretagne, 22195 Plérin, France

(3) Trust'ing, 44300 Nantes France

(4) Chambres d'agriculture de Bretagne, 56009 Vannes, France

david.renaudeau@inrae.fr

Valeurs énergétique et protéique des feuilles de luzerne chez le porc en croissance

Chez le porc, l'utilisation de la luzerne entière sous forme déshydratée est limitée en raison de sa forte teneur en parois végétales. Le fractionnement de la plante au moment de la récolte permet de séparer les tiges riches en fibres des feuilles riches en protéines. L'objectif de cette étude est de caractériser les valeurs énergétique et protéique de la farine de feuilles de luzerne (FFL) déshydratée. Dans l'essai 1, la digestibilité de l'énergie a été mesurée sur 25 porcs d'un poids initial d'environ 55 kg qui ont été alimentés avec des aliments contenant 0, 5, 10, 15 ou 20% de FFL. Dans l'essai 2, la digestibilité iléale standardisée (DIS) des acides aminés (AA) a été mesurée sur cinq porcs. Cinq régimes expérimentaux (0, 5, 10, 15 ou 20% de FFL) ont été testés dans un dispositif en carré latin 5x5 complet avec six périodes et cinq régimes. Sur la base de la matière sèche (MS), les teneurs en N \times 6,25, lysine, thréonine, AA soufrés, cellulose brute et en énergie brute (EB) de la FFL étaient, respectivement, de 25,3%, 1,06%, 0,98%, 0,63%, 15,5% et 19,3 MJ/kg. L'augmentation de l'incorporation de la FFL induit une réduction ($P < 0,05$) de la digestibilité de l'énergie et des AA. En moyenne, la digestibilité fécale de l'énergie et la teneur en énergie digestible sont de 50,8% et 9,8 MJ/kg MS. En moyenne, les DIS de la lysine, de la thréonine et des AA soufrés sont en moyenne, respectivement, de 70,9%, 45,4% et 47,7%. Les faibles digestibilités de l'énergie et des AA de la FFL pourraient être liées à la présence de fibres, de métabolites secondaires (saponines, flavonoïdes) mais également aux conditions de déshydratation des feuilles.

Energy and protein values of lucerne leaf meal in growing pigs

In pig feeding, the inclusion rate of dehydrated lucerne (whole plant) is limited due to its high fibre content. In contrast, the leaf fraction of lucerne has a lower fibre and higher protein content than the whole plant, which would make it a valuable protein source for pigs. The aims of the present study were to determine the energy and protein values of lucerne leaf meal (LLM) in growing pigs. In the first trial, the total tract digestibility coefficient (TTD) of energy was measured for 25 pigs (55 kg body weight (BW) randomly allotted to five dietary treatments: 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of LLM. In the second trial, the apparent (AID) and standardized (SID) ileal digestibility coefficient of amino acids (AA) were measured for five pigs (32.4 kg BW) arranged in a 5 x 5 Latin square design with six periods and five diets containing 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of LLM. On a dry matter (DM) basis, mean crude protein (N \times 6.25), lysine, threonine, sulphur AA, crude fibre and gross energy contents of LLM were 25.3%, 1.06%, 0.98%, 0.63%, 15.5% and 19.3 MJ/kg, respectively. As expected, the TTD of energy and AID of AA decreased ($P < 0.05$) with increasing inclusion of LLM in the diet. The TTD of energy and the digestible energy content of leaf meal were 50.8% et 9.8 MJ/kg DM, respectively. On average, the SID of lysine, threonine and sulphur AA was 70.9%, 45.4% and 47.7%, respectively. The low digestibility of energy and AA of LLM are probably explained by the presence of fibre and secondary compounds (saponins, flavonoids) at a high concentration and/or by the dehydration process used in the present study.

1. INTRODUCTION

L'amélioration de l'autonomie protéique des exploitations porcines est importante pour réduire les coûts alimentaires et leur dépendance face aux aléas des productions et des marchés internationaux. Réduire le recours au soja pour l'approvisionnement en protéines passe par la promotion de nouvelles ressources alimentaires si possible produites dans ou à proximité de l'exploitation surtout quand l'aliment est fabriqué à la ferme. L'utilisation de légumineuses fourragères (luzerne, trèfles...) est une solution bien connue pour réduire la dépendance protéique des élevages bovins. Bien conduite et sans fertilisation, la luzerne peut produire jusqu'à 2,5 T de protéines à l'hectare (contre 1,0 T/ha pour le soja). Dans certains systèmes de production, tels qu'en agriculture biologique, la luzerne est utilisée en tête de rotation pour freiner l'enherbement et amender le sol en azote mais la production de fourrage n'est pas pleinement valorisée en alimentation animale. L'utilisation de la luzerne pâturée ou déshydratée dans l'alimentation porcine est décrite depuis longtemps (Danielson *et al.*, 1969 ; Kass *et al.*, 1980). Chez le porc en croissance, le taux d'incorporation de la luzerne déshydratée est limité à 10% (Heuzé *et al.*, 2013) compte tenu de sa forte teneur en fibres et de leurs conséquences sur la digestibilité de l'énergie et des protéines. De nouvelles méthodes de fractionnement de la luzerne permettent d'envisager de séparer les feuilles (riches en protéines) des tiges (riches en fibres) au moment de la récolte. L'objectif de cette étude est de caractériser la valeur nutritive de la farine de feuilles de luzerne (FFL) chez le porc en croissance.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Aliments expérimentaux

Les valeurs énergétique et protéique de la FFL ont été évaluées dans deux essais indépendants. Les feuilles (25 T) ont été récoltées au stade floraison de la 3^{ème} récolte en utilisant une méthode de fractionnement développée par la société Trust'ing. Les feuilles ont ensuite été déshydratées dans un outil industriel (# 800°C pendant 1 heure) avant d'être broyées en poudre fine. La composition chimique moyenne de la FFL est donnée dans le tableau 1.

Dans deux essais consécutifs, la FFL a été incorporée au moment de la fabrication des aliments expérimentaux à 0, 5, 10, 15 ou 20%. Dans l'essai 1, le régime témoin (L0) été formulé à base de blé et de tourteau de soja. La FFL a été incorporée à 5, 10, 15 ou 20%, respectivement dans les régimes L5, L10, L15, et L20 au moment de la fabrication en remplacement d'une partie du blé et du tourteau de soja. Les compositions centésimale et chimique des régimes expérimentaux sont présentées dans le tableau 2. Dans l'essai 2, des régimes synthétiques ont été formulés principalement à base d'amidon de maïs, de caséine et de FFL. La totalité de la protéine du régime L0 a été apportée par la caséine. Dans les régimes L5, L10, L15 et L20, une partie de la caséine a été remplacée par un taux croissant en FFL. Un régime protéoprive (PP) formulé principalement à base d'amidon de maïs a également été utilisé pour déterminer l'excrétion endogène basale de chaque animal. La composition des régimes utilisés dans l'essai 2 est donnée dans le Tableau 3. Tous les régimes ont été distribués en 2 repas par jour sous forme de farine humidifiée. Les animaux avaient un accès libre à l'eau.

Tableau 1 – Composition chimique de la farine de feuilles de luzerne

Composition chimique	
Matière sèche (MS), %	88,4
Matières minérales, % MS	11,6
Nx6,25, % MS	25,3
N protéique, % MS	17,0
Cellulose brute, % MS	15,5
NDF, % MS	27,0
ADF, % MS	17,0
ADL, % MS	2,9
EB, MJ/kg MS	19,3
Teneur en acides aminés, % MS (% Lys)	
Lysine (Lys)	1,06 (100)
Thréonine	0,98 (92)
Méthionine + Cystéine	0,43 (40)
Tryptophane	0,20 (19)
Isoleucine	0,46 (44)
Valine	1,02 (96)
Leucine	1,32 (124)
Phénylalanine	1,75 (165)
Tyrosine	1,14 (108)
Histidine	0,80 (75)
Arginine	0,41 (39)
Alanine	1,00 (94)
Asparagine	1,29 (122)
Glutamine	2,33 (219)
Glycine	2,07 (195)
Serine	1,14 (107)
Proline	0,93 (88)
Lysine	1,18 (111)

2.2. Animaux

Dans l'essai 1, 25 porcs mâles castrés croisés Piétrain × (Large White × Landrace) d'environ 55 kg en début d'essai ont été utilisés. La digestibilité apparente totale de composants de chaque régime a été mesurée sur cinq porcs. Dans l'essai 2, la digestibilité iléale de la protéine et des acides aminés a été mesurée avec cinq porcs mâles castrés équipés d'une anastomose iléo-rectale. L'utilisation de ces animaux opérés permet de s'affranchir de l'impact des synthèses et dégradations microbiennes des acides aminés sur la mesure de la digestibilité des acides aminés d'origine alimentaire.

Tableau 2 – Compositions centésimale et chimique des régimes utilisés dans l'essai 1

	L0	L5	L10	L15	L20
Composition centésimale, %					
Luzerne	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0
Blé	80,3	78,3	75,3	72,3	69,3
Tourteau de soja	16,0	13,0	11,0	9,0	7,0
Autres ¹	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Composition chimique, /kg de matière sèche					
Matières minérales, g	56,7	65,6	67,0	70,7	71,4
Nx6,25, g	190	185	182	182	180
NDF, g	123	121	123	132	156
ADF, g	35	40	43	45	53
ADL, g	11	11	10	13	14
Energie brute, MJ	17,69	17,72	17,61	17,73	17,84

¹1,2% de Phosphate bi-calcique, 1,5% de carbonate de calcium, 0,5% de sel marin, 0,5% de complément oligo-vitamines.

2.3. Déroulement de l'expérience

Dans l'essai 1, les animaux ont été logés dans des cases individuelles d'environ 2 m² pendant 10 jours d'adaptation au

régime expérimental. Les animaux sont ensuite placés dans des cages de digestibilité pendant 11 jours. Après 4 jours d'adaptation à la cage, les fèces ont été collectées pendant 7 jours consécutifs. Les animaux ont été pesés à l'entrée et à la sortie des cages de digestibilité.

Tableau 3 – Compositions centésimale et chimique des régimes utilisés dans l'essai 2

	L0	L5	L10	L15	L20	PP
Composition centésimale, %						
Luzerne	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	0,0
Huile de soja	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Caséine	15,3	14,1	12,9	11,6	10,4	0,0
Amidon de maïs	67,5	65,7	61,9	58,2	54,4	82,8
Cellulose	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0
Autres ¹	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
Composition chimique, /kg MS						
Matières minérales, g	56	60	66	70	76	56
N×6,25, g	153	154	152	153	152	3
NDF, g	18	22	36	51	64	18
ADF, g	2	13	25	35	43	2
ADL, g	0,0	2,8	7,2	8,4	10,3	0,0
Energie brute, MJ	17,2	17,3	17,3	17,2	17,4	16,2

¹4,0% de sucre cristallisé, 0,5% de carbonate de calcium, 0,15% de sel, 2,5% de bicarbonate de sodium, 2,5% de phosphate monocalcique, 1,04% de mélange shuntés et 0,5% de complément oligo-vitamines.

Après une période de repos post-opératoire de 3 semaines, les porcs de l'essai 2 ont reçu successivement un des 5 régimes expérimentaux de l'étude selon un schéma en carré latin complet au cours de 5 périodes successives. Tous les animaux ont reçu le régime PP pendant une sixième période. La rotation des porcs sur les régimes assure un ordre moyen de mesure identique pour tous les régimes. Chaque période était constituée de 4 jours d'adaptation au régime et de 3 jours de collecte des excréta. Les animaux ont été pesés au début et à la fin de chaque période. Dans les deux essais, la totalité des digestas a été pesée, mélangée, échantillonnée en double et congelée à l'issue de chaque période de collecte. Un échantillon a été utilisée pour la mesure de la teneur en matière sèche. L'autre échantillon a été lyophilisé pour les analyses de laboratoire. Pendant les périodes de collecte, des échantillons d'aliment représentatifs de ce qui a été distribué aux animaux ont été prélevés tous les jours et poolés en fin de période de collecte. Une partie de l'échantillon a été utilisée pour la mesure de la matière sèche, l'autre partie a été conservée pour les analyses de laboratoire (repas fictifs).

2.4. Analyses de laboratoire et statistiques

Les repas fictifs et les digestas ont été analysés pour leur teneur en matières minérales (MM), matière organique (MO), azote (N), cellulose brute de Weende (CB), fibres de van Soest (NDF, ADF, ADL), et énergie brute (EB). Les teneurs en acides aminés ont été mesurées uniquement sur les échantillons de l'essai 2. Les métabolites secondaires (saponines, flavonoïdes, triterpénoïdes...) contenus dans la FFL ont été dosés par HPLC/MS en utilisant l'ombelliférone comme témoin interne.

Dans l'essai 1, les coefficients d'utilisation digestive (CUD) fécaux apparents de MO, N, EB et des fibres ont été calculés sur la base des quantités d'aliment ingéré, de fèces excrétées et des analyses chimiques sur ces deux matrices. Dans l'essai 2, les CUD iléaux apparents ont été calculés pour MO, N, EB et les acides aminés. La digestibilité apparente a été corrigée par une

excrétion azotée endogène moyenne supposée proportionnelle à la quantité de MS ingérée. Le CUD iléal obtenu ainsi est appelé CUD iléal standardisé (CUDs).

L'effet des différents régimes sur les CUD a été testé avec une analyse de variance (proc GLM) avec le logiciel SAS (V9.4 Inst. Inc. Cary, NC). Pour l'essai 1, le modèle prenait en compte les effets linéaires et quadratiques (contrastes) du régime. Pour l'essai 2, le modèle prenait en compte les effets de la période de collecte, de l'animal et du régime (contrastes linéaires et quadratiques). Un seuil de significativité de 5% a été retenu pour l'analyse. Les valeurs des digestibilités de la MO, N, EB et des acides aminés de la FFL ont été déterminées par une méthode de régression reposant sur le principe de l'additivité des teneurs en MO, N, EB et acides aminés digestibles des matières premières (blé, tourteau de soja, FFL pour l'essai 1 et amidon, caséine et FFL pour l'essai 2) et leur taux d'incorporation respectifs dans les régimes. Elles consistent à décomposer les teneurs en nutriments digestibles dans les régimes en la somme des teneurs en nutriments digestibles dans les matières premières par régression non linéaire. Pour chaque nutriment, un terme quadratique a systématiquement été testé dans l'équation.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Composition de la farine de feuilles de luzerne

La composition proximale et le profil en acides aminés de la FFL sont présentés dans le tableau 1. La comparaison par rapport à la composition de la luzerne déshydratée (plante entière) disponible dans les Tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2002) montre une teneur plus élevée en matières azotées (25,3 vs 20,0% MS) et une moindre teneur en fibres dans la FFL (NDF : 27,0 vs 45,9% MS). Ce résultat confirme que la récolte séparée des feuilles permet de concentrer les protéines et de réduire la teneur en fibres du produit final. Ce résultat est cohérent avec les différences de composition entre les feuilles et les tiges de la luzerne rapportées par Bourquin et Fahey (1994). Ces auteurs indiquent que les tiges contiennent en moyenne environ 3 fois moins de protéines (10,7 vs 27,7% MS) et 2 fois plus de NDF (64,1 vs 26,6% MS) que les feuilles. Ces proportions restent cependant très sensibles aux conditions pédo-climatiques pendant la croissance de la plante et au stade de récolte. Comparativement à la luzerne déshydratée, la FFL a une teneur plus forte en lysine (10,6 vs 8,5 g/kg de MS). Exprimé par rapport à la lysine, le profil en acides aminés de la FFL est très similaire à celui de la luzerne déshydratée (Sauvant *et al.*, 2002). La teneur en lysine (% de N total×6,25) est significativement plus faible dans la FFL comparativement au tourteau de soja (4,2 vs 6,1%). D'après les dosages réalisés dans notre laboratoire, la fraction non protéique représente près de 33% de l'azote total de la FFL (vs environ 3% pour le tourteau de soja). Ainsi, si le rapport lysine/N×6,25 est calculé en prenant en compte seulement la fraction protéique de N total de la FFL, la valeur devient très comparable à celle donnée pour le soja (6,4%). L'analyse des métabolites secondaires susceptibles d'interagir avec les nutriments de la ration montrent que la FFL contient beaucoup de flavonoïdes (1,92 mg/g MS équivalent) et en saponines (1,19 mg/g MS équivalent). Il faut noter que des analyses antérieures montrent que les saponines sont environ 2 fois plus concentrées dans la FFL comparativement à la plante entière (Junker, communication personnelle).

Tableau 4 – Performances et digestibilité fécale des régimes (essai 1)

	L0	L5	L10	L15	L20	ETR ¹	Statistiques ²
Nb. de porcs	5	5	5	5	5		
Performances							
Poids vif moyen (PV), kg	63,8 ^a	63,6 ^a	63,9 ^a	66,8 ^a	61,9 ^a	4,5	
Gain moyen quotidien, g/j	729 ^a	711 ^{ab}	653 ^{bc}	649 ^{bc}	636 ^c	50	L*
Indice de consommation, kg/kg	2,35 ^c	2,42 ^{bc}	2,64 ^{bc}	2,65 ^{ab}	2,71 ^a		
Matière sèche (MS) ingérée, g/j/kg PV ^{0,60}	141 ^a	142 ^a	142 ^a	138 ^a	144 ^a	6	
Coefficient d'utilisation digestive, %							
Matière organique	88,8 ^a	87,5 ^b	86,0 ^c	84,0 ^d	82,4 ^e	0,7	L**
N	84,8 ^a	82,8 ^b	78,9 ^c	76,9 ^{cd}	74,2 ^d	2,1	L**
Energie brute	86,1 ^a	84,5 ^b	82,4 ^c	80,4 ^d	78,5 ^e	0,9	L**
Energie digestible, MJ/kg MS	15,25 ^a	15,00 ^b	14,50 ^c	14,28 ^d	14,02 ^e	0,15	L**

¹ETR : écart type résiduel du modèle. ²Modèle d'analyse de variance prenant en compte les effets du régime (effet linéaire (L) et quadratique (Q)). * P < 0,05, ** P < 0,01. ^{a,b,c,d,e} pour une même ligne : les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de P < 0,05.

Tableau 5 – Coefficients d'utilisation digestive iléaux apparents (CUDa) des régimes (essai 2)

	L0	L5	L10	L15	L20	ETR ¹	Statistiques ²
Nb. de collectes	5	5	5	5	5		
Poids vif (PV) moyen, kg	42,6 ^a	42,7 ^a	42,9 ^a	42,9 ^a	42,4 ^a	0,8	
Matière sèche (MS) ingérée, g/j/kg PV^{0,60}	132 ^a	131 ^a	131 ^a	131 ^a	132 ^a	1	
CUDa de la matière organique, %	92,5 ^a	91,1 ^b	87,7 ^c	84,3 ^d	80,2 ^e	0,7	L**, Q**
CUDa de l'énergie, %	93,4 ^a	91,8 ^b	88,1 ^c	84,0 ^d	79,4 ^e	0,7	L**, Q**
CUDa de N, %	89,5 ^a	87,1 ^b	82,8 ^c	78,0 ^d	74,2 ^e	0,9	L*
CUDa des acides aminés, %							
Lysine	95,2 ^a	94,6 ^a	92,7 ^b	90,6 ^c	87,6 ^d	0,9	L**, Q**
Thréonine	90,0 ^a	87,6 ^b	85,0 ^c	78,2 ^d	74,8 ^e	1,4	L**, Q*
Méthionine+Cystéine	90,7 ^a	89,6 ^b	85,2 ^c	80,0 ^d	73,5 ^e	1,1	L**, Q**
Tryptophane	87,5 ^a	87,1 ^a	82,8 ^b	77,6 ^c	73,6 ^d	1,9	L**, Q*
Isoleucine	91,7 ^a	90,2 ^b	86,7 ^c	81,5 ^d	78,5 ^e	0,8	L**, Q**
Valine	92,6 ^a	91,4 ^b	88,5 ^c	84,2 ^d	81,2 ^e	0,6	L**, Q**
Leucine	94,4 ^a	93,7 ^a	91,8 ^b	88,9 ^c	86,7 ^d	0,6	L**, Q**
Phénylalanine	94,4 ^a	93,8 ^a	91,9 ^b	89,6 ^c	87,5 ^d	0,8	L**, Q*
Tyrosine	95,5 ^a	94,9 ^a	92,8 ^b	90,9 ^c	88,6 ^d	0,6	L**, Q**
Histidine	94,2 ^a	93,3 ^a	91,4 ^b	88,1 ^c	85,2 ^d	0,9	L**, Q**
Arginine	91,4 ^a	90,3 ^{ab}	88,6 ^b	84,8 ^c	82,3 ^d	1,5	L**
Alanine	86,1 ^a	85,6 ^a	81,3 ^b	76,7 ^c	73,5 ^d	1,6	L**, Q*
Asparagine	90,7 ^a	89,7 ^a	86,5 ^b	82,8 ^c	80,2 ^d	1,1	L**
Glutamine	94,4 ^a	93,4 ^b	90,8 ^c	86,3 ^d	83,3 ^e	0,7	L**, Q**
Glycine	75,3 ^a	75,7 ^{ab}	71,3 ^b	63,9 ^c	59,8 ^d	3,0	L*, Q*
Serine	88,1 ^a	85,6 ^b	80,3 ^c	69,9 ^d	63,8 ^e	1,9	L**, Q**
Proline	95,6 ^a	95,2 ^a	93,4 ^b	88,5 ^c	71,4 ^d	0,8	L**, Q**

¹ETR = Ecart type résiduelle du modèle. ²Modèle prenant en compte les effets du régime (effet linéaire (L) et quadratique (Q)), de la période de collecte et de l'animal. * P < 0,05, ** P < 0,01. ^{a,b,c,d,e} pour une même ligne : les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de P < 0,05.

3.2. Effets de l'augmentation de l'introduction de FFL dans l'aliment sur les performances des animaux et la digestibilité des nutriments

Dans l'essai 1, l'augmentation du taux d'incorporation de la FFL de 0 à 20% chez des animaux recevant la même quantité d'aliment par jour se traduit par une réduction linéaire des performances de croissance (729 vs 636 g/j ; P < 0,05) et une augmentation de l'indice de consommation (2,35 vs 2,71 kg/kg ; P < 0,05). Ces résultats sont en accord avec ceux publiés par Thacker et Haq (2008) et Chen *et al.* (2014). La digestibilité fécale de la MO, de l'N et de l'énergie diminue de manière linéaire quand le taux d'incorporation de la FFL augmente de 0 à 20%. Les réductions de 7,6 et 10,2 points de la digestibilité fécale, respectivement de l'énergie et de l'azote, sont comparables à celles reportées chez des porcs en période de finition par Chen *et al.* (2014). La réduction de la digestibilité de l'énergie est en partie expliquée par l'augmentation de la teneur en matières minérales et en fibres dans les régimes (Le Goff et Noblet, 2001). La plus faible absorption des constituants

alimentaires en présence de fibres s'explique par une augmentation à la fois de la vitesse de transit et des pertes endogènes (Kuan *et al.*, 1983). Par ailleurs, les fourrages, une part significative des protéines peut être liée aux parois végétales les rendant ainsi inaccessibles à l'action des enzymes du tube digestif. Cela pourrait expliquer pourquoi l'effet de l'introduction de la FFL sur la digestibilité de l'N est plus marqué que pour l'énergie. Cependant, une augmentation de l'excrétion fécale en azote liée à l'augmentation de la masse bactérienne dans le gros intestin pourrait également contribuer à expliquer cette plus faible digestibilité (Le Goff et Noblet, 2001). La FFL a la particularité de contenir des teneurs relativement importantes en métabolites secondaires (saponines et flavonoïdes). Chez le porc, les saponines sont décrites d'abord comme ayant un effet négatif sur l'appétence des régimes formulés avec de la luzerne (Cheeke *et al.*, 1977). D'après ces auteurs, leur effet sur l'utilisation digestive des nutriments est beaucoup moins clair. Les saponines de la luzerne réduisent cependant les fermentations bactériennes et la production d'acides gras volatiles (Glitsch *et al.*, 1998). Chez

l'homme, les flavonoïdes peuvent interagir avec les enzymes digestives et réduire la disponibilité des nutriments (Gonzales *et al.*, 2015). A notre connaissance, les impacts de ces polyphénols sur la digestibilité ne sont pas décrits chez le porc. On ne peut pas cependant exclure le fait que la faible digestibilité des régimes contenant de la FFL puisse être en partie expliquée par la présence de ces composés secondaires.

Le tableau 5 présente les CUDa des régimes expérimentaux et du régime contenant de la caséine comme seule source de protéines. L'ajout de FFL s'accompagne d'une réduction significative de la digestibilité de l'ensemble des acides aminés de la ration en accord avec les résultats disponibles dans la littérature (Reverter et Lindberg, 1998). Cette réduction varie de 6,9 points pour la tyrosine à 24,2 points pour la proline. La prise en compte d'un effet quadratique du régime indique que l'effet de l'incorporation de la FFL sur la digestibilité iléale apparente de la MO, de l'EB et d'une partie des acides aminés n'est pas linéaire. Ce résultat est également rapporté des régimes formulés à base d'orge et de FFL (Reverter et Lindberg, 1998 ; Reverter *et al.*, 1999).

Tableau 6 – Valeurs nutritives de la farine de feuilles de luzerne

	Moyenne	Equation ¹
Coefficient de digestibilité fécale, %		
Matière organique	56,5	
Energie brute	50,8	
N	43,5	
Coefficient de digestibilité iléale standardisée, %		
Matière organique	49,7*	$Y = 71,4 - 1,45 \times \text{taux}$
Energie brute	40,0	
N	47,8	
Lysine	70,9*	$Y = 91,0 - 1,34 \times \text{taux}$
Thréonine	45,4	
Méthionine + Cystéine	47,7*	$Y = 82,3 - 2,30 \times \text{taux}$
Tryptophane	64,3	
Isoleucine	51,8	
Valine	56,1	
Leucine	67,2	
Phénylalanine	75,2	
Tyrosine	73,4	
Histidine	59,9	
Arginine	69,1	
Alanine	55,6	
Asparagine	64,4	
Glutamine	25,4	
Glycine	49,5	
Serine	42,5	
Proline	66,6	
Energie digestible, MJ/kg		
Fécale	9,8	
Iléale standardisée	7,6	

¹Equations reliant la digestibilité iléale standardisée (Y, %) au taux d'incorporation de la FFL (%). *Valeurs ajustées pour un taux d'incorporation moyen de 15,0%

3.3. Valeurs nutritionnelles de la farine de feuille de luzerne pour le porc

La valeur nutritive moyenne de la FFL est présentée dans le tableau 6. Seulement 51% de l'énergie brute de la FFL est digestible. Cette valeur est légèrement inférieure à la valeur publiée par Lindberg et Cortova (1995, 61%) mais très nettement supérieure à celle rapportée dans cette même équipe par Andersson et Lindberg (1997, 35%). Ces résultats suggèrent une forte variabilité dans la valeur énergétique de ce type de matière première. Bien qu'aucune indication ne soit

présente dans les articles pour expliquer cette variabilité, des différences au niveau du stade de récolte mais également au niveau des conditions de déshydratation pourraient être invoquées. D'après nos résultats, environ 78% de l'énergie digestible de la FFL est absorbée au niveau de l'intestin grêle. Cette valeur est légèrement inférieure à celle publiée par Andersson et Lindberg (1997, 70%). Compte tenu des effets négatifs des saponines sur les fermentations bactériennes, il est possible que cet écart puisse être expliqué par des teneurs en saponines différentes entre les deux FFL.

La teneur en énergie digestible (ED) mesurée sur notre FFL est assez similaire à celle rapportée dans les Tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2002, 9,2 MJ/kg MS) pour de la luzerne déshydratée en plante entière avec une teneur en NDF beaucoup plus élevée (45,9 vs 27,0% MS). Même si la forte teneur en fibres de la FFL peut expliquer en grande partie sa faible teneur en ED, ce résultat suggère que d'autres facteurs (métabolites secondaires, température de déshydratation) pourraient aussi limiter la capacité de l'animal à utiliser plus efficacement cette matière première.

En moyenne, les coefficients de digestibilité iléale standardisée (CUDs) des acides aminés de la FFL calculés dans notre étude sont assez proches des valeurs disponibles dans la littérature (Reverter et Lindberg, 1998). En accord avec ces auteurs, le CUDs des acides aminés soufrés est relativement faible en lien avec la faible digestibilité de la cystine. Il faut aussi noter le très faible CUDs pour la glutamine (25,4%). Le CUDs de la lysine est légèrement plus élevé que la valeur donnée dans les Tables INRA-AFZ pour la luzerne déshydratée (70,9 vs 67,0%). Comme pour l'énergie, ce résultat illustre que des facteurs autres que les fibres doivent être invoqués pour expliquer la faible digestibilité de la lysine dans la FFL. En particulier, il est utile de s'interroger sur l'impact qu'ont pu avoir les conditions de séchage utilisées dans notre étude sur la disponibilité de la lysine pour les animaux. Plus généralement, nous ne pouvons pas exclure totalement que la biodisponibilité globale des acides aminés ait été réduite du fait de l'effet du traitement thermique sur la structure quaternaire des protéines.

Dans nos conditions expérimentales la valeur nutritive de la FFL semble en partie dépendre de son taux d'incorporation dans les régimes. Cette non-linéarité est significative ($P < 0,05$) notamment pour le CUDs de la MO, de la lysine et des acides aminés soufrés et à la limite de la significativité ($P < 0,10$) pour l'EB, la thréonine, l'histidine, la glycine et la proline. Ces résultats suggèrent des interactions digestives apparentes entre certains composés de la FFL (fibres, métabolites secondaires...) et les nutriments des autres constituants de la ration. Il pourrait également résulter d'une mauvaise estimation des pertes endogènes. Classiquement, la digestibilité iléale apparente a été corrigée pour les pertes endogènes basales qui sont par définition indépendantes de la nature de la matière première étudiée. Dans le cas de notre étude, les pertes endogènes basales estimées en g/kg de MS ingérée étaient très similaires à celles mesurées dans les autres protocoles réalisés dans notre laboratoire et à celles rapportées dans les Tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2002). Certains constituants alimentaires (fibres, facteurs antinutritionnels, protéines) induisent du fait de leur présence dans le lumen des sécrétions endogènes supplémentaires et donc des pertes iléales spécifiques (Sève et Henry, 1996) qui sont elles aussi en partie réabsorbées. Dans ce cas, il est probable que la digestibilité standardisée sous-estime la digestibilité réelle et que cet effet soit accentué avec le taux d'incorporation de la

matière première dans le régime. Cela pourrait expliquer la réduction des CUDs d'une partie des acides aminés de la FFL avec l'augmentation de son taux d'incorporation dans la ration. Ce résultat est également logique avec le très faible CUDs mesuré pour la glutamine qui est un des acides aminés les plus abondants dans les sécrétions endogènes d'origine intestinale.

CONCLUSION

Le fractionnement des feuilles et leur séchage selon un processus industriel classiquement utilisé pour produire de la luzerne déshydratée à destination des ruminants ne permet pas d'améliorer très significativement la valeur de la farine de feuilles de luzerne pour le porc comparativement à la plante entière déshydratée. Plus généralement, notre étude souligne

la difficulté d'évaluer correctement chez le porc la valeur nutritionnelle réelle des matières premières non conventionnelles comme les fourrages.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la région Bretagne pour leur aide financière qui a permis la mise en place des expérimentations et la société Twisaroma (Illkirch-Graffenstaden, France) pour les dosages des métabolites secondaires dans la FFL. Cette étude a été réalisée grâce à la collaboration technique de Agathe Constantin, Marie-Hélène Lohat, Véronique Maheux, Alain Marchais, Colette Mustiere, Cécile Perrier, Vincent Piedvache et Gwennola Robin

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andersson C., Lindberg J.E., 1997. Forages in diets for growing pigs 1. Nutrient apparent digestibilities and partition of nutrient digestion in barley-based diets including lucerne and white-clover meal. *Animal Sci.*, 65, 483-491.
- Bourquin L.D., Fahey G.C., Jr., 1994. Ruminant digestion and glycosyl linkage patterns of cell wall components from leaf and stem fractions of alfalfa, orchardgrass, and wheat straw. *J. Anim. Sci.*, 72, 1362-1374.
- Cheeke P.R., Kinzell J.H., Pedersen M.W., 1977. Influence of saponins on Alfalfa utilization by rats, rabbits and swine. *J. Anim. Sci.*, 45, 476-481.
- Chen L., Gao L.X., Zhang H.F., 2014. Effect of graded levels of fiber from Alfalfa meal on nutrient digestibility and flow of fattening pigs. *J. Int. Agr.*, 13, 1746-1752.
- Danielson D.M., Butcher J.E., Street J.C., 1969. Estimation of alfalfa pasture intake and nutrient utilization by growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 28, 6-12.
- Glitsc L.V., Brunsgaard G., Hcsgaard S., Sandstjerm B., Bach Knudsen K.E., 1998. Intestinal degradation in pigs of rye dietary fibre with different structural characteristics. *Brit. J. Nutr.*, 80, 457-468.
- Gonzales G.B., Smaghe G., Grootaert C., Zotti M., Raes K., Camp J.V., 2015. Flavonoid interactions during digestion, absorption, distribution and metabolism: a sequential structure-activity/property relationship-based approach in the study of bioavailability and bioactivity. *Drug Metabolism Reviews*, 47, 175-190.
- Heuzé V., Tran G., Boval M., Noblet J., Renaudeau D., Lessire M., Lebas F., 2016. Alfalfa (*Medicago sativa*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/275>.
- Kass M.L., Van Soest P.J., Pond W.G., Lewis B., McDowell R.E., 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.*, 50, 175-191.
- Kuan K.K., Stanogias G., Dunkin A.C., 1983. The effect of proportion of cell-wall material from lucerne leaf meal on apparent digestibility, rate of passage and gut characteristics in pigs. *Anim. Prod.*, 36, 201-209.
- Le Goff G., Noblet J., 2001. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées Rech. Porcine*, 33, 211-220.
- Lindberg J.E., Cortova Z., 1995. The effect of increasing inclusion of lucerne leaf meal in a barley-based diet on the partition of digestion and on nutrient utilization in pigs. *Anim. Feed. Sci. Tech.*, 56, 11-20.
- Reverter M., Lindberg J.E., 1998. Ileal digestibility of amino acids in pigs given a barley-based diet with increasing inclusion of lucerne leaf meal. *Anim. Sci.*, 67, 131-138.
- Reverter M., Lundh T., Lindberg J.E., 1999. Ileal amino acid digestibilities in pigs of barley-based diets with inclusion of lucerne (*Medicago sativa*), white clover (*Trifolium repens*), red clover (*Trifolium pratense*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Brit. J. Nutr.*, 82, 139-147.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., Association Française de Zootechnie (2004). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage (Porcs, volailles, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons). Paris, FRA : INRA Editions, 301 pages.
- Sève B., Henry Y., 1996. Protein utilization in non ruminants. In: A.F. Nunes, A.V. Portugal, J.P. Costa and J.R. Ribeiro (eds), Proc. of the 7th Symp. on "Protein metabolism and nutrition", Vale de Santarém, Portugal. EAAP Publ. 81, 59-82
- Thacker P.A., Haq I., 2008. Nutrient digestibility, performance and carcass traits of growing-finishing pigs fed diets containing graded levels of dehydrated lucerne meal. *J. Sci. Food Agric.*, 88, 2019-2025.