



# Valeurs énergétiques et protéiques de 10 fourrages chez le porc

David RENAUDEAU (1), Sarah LOMBARD (2), Florine MARIE (3), Eloise DELAMAIRE (4)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

(2) Institut de l'Agriculture et de l'Alimentation Biologiques, 49105 Angers, France

(3) Initiative Bio Bretagne, 35700 Rennes, France

(4) UE Physiologie et Phénotypage des Porcs, INRAE, 35590 Saint-Gilles, France

[david.renaudeau@inrae.fr](mailto:david.renaudeau@inrae.fr)

Avec la collaboration technique de Benjamin BLOT (1), Laurence LE NORMAND (1), Colette MUSTIERE (1), Cécile PERRIER (1), Amandine CAUCHI (4), Simon DUTEIL (4), Julien GEORGE (4), Mickaël GENISSEL (4), Ewen POULNAIS (4), Guillaume POUPEAU (4), Jean-François ROUAUD (4).

## Valeurs énergétiques et protéiques de 10 fourrages chez le porc

L'objectif de cette étude est d'évaluer la valeur nutritionnelle de 10 fourrages chez le porc en croissance-finition. Les ressources sont distribuées en frais (chicorée, trèfle violet, raygrass), sous forme déshydratée (luzerne et trèfle violet) à deux niveaux de température en sortie du séchoir (NT : 130°C ; BT : 48°C), sous forme de foin (luzerne, mélange trèfle violet/raygrass) ou d'enrubanné (mélange luzerne/trèfle violet). Elles ont été évaluées à la fois pour leur valeur énergétique et protéique. La digestibilité fécale (CUD) de l'énergie (E) et des nutriments a été mesurée sur quatre à cinq porcs/fourrage (essais 1 à 3). La digestibilité iléale (CUDs) des acides aminés (AA) a été mesurée sur quatre porcs/fourrage équipés d'une anastomose iléo-rectale (essais 4 et 5). Dans l'essai 1, le CUDE est supérieur pour la chicorée comparativement au trèfle et au raygrass (63,8 vs. 57,6 % en moyenne). Dans l'essai 2, Le CUDE de la luzerne NT est plus faible que celui du trèfle NT (52,6 vs. 57,9 %) et ne varie pas quand la température de déshydratation est abaissée. En revanche, la valeur énergétique du trèfle chute de 10 points quand la température est réduite. Enfin, le CUDE des foin est diminué comparativement à celui de l'enrubanné (37,2 en moyenne vs. 54,9 %). Le CUDs des AA varie de manière très importante selon la nature, l'origine botanique et les conditions de conservation des fourrages. La luzerne déshydratée a le CUDs de la lysine le plus élevé (58,8 %) ; le foin de trèfle a la valeur la plus faible (25,9 %). Les différences de valeurs nutritionnelles observées entre fourrages sont expliquées à la fois par une variation de leur teneur en parois végétales mais également par la présence d'autres facteurs antinutritionnels.

## Energy and protein value of 10 pig forages in growing pig

The aim of this study was to evaluate the nutritional value of fresh and preserved forages for growing pigs. A total of 10 forages, distributed fresh (chicory, red clover, ryegrass) or in a form (lucerne and red clover) that had been dehydrated at one of two temperatures (NT and LT, at 130°C or 48°C, respectively), as hay (lucerne, red clover/grass mix) or as wrapped bales (lucerne/red clover mix), were assessed for their energy and protein contents or their energy content alone. The total tract digestibility (TTD) of the energy (E) and nutrients was assessed for four to five pigs/forage (trials 1 to 3). Ileal digestibility (SID) of amino acids (AA) was measured for four pigs/forage fitted with an ileo-rectal anastomosis (trials 4 and 5). In trial 1, the TTDE was higher for chicory than for red clover and ryegrass (mean of 63.8 % vs. 57.6 %, respectively). In trial 2, the TTDE of lucerne NT was lower than that of clover NT (52.6 % vs. 57.9 %, respectively) and did not differ for the lower dehydration temperature. In contrast, the energy content of red clover was 10 percentage points lower for the dehydration temperature. Finally, the TTDE of hay was lower than that of the wrapped bales (mean of 37.2 % vs. 54.9 %, respectively). The SID of AA varied considerably as a function of the nature, botanical origin and preservation conditions of the forages. Dehydrated lucerne had the highest lysine standardized ileal digestibility (58.8 %), whereas clover hay had the lowest (25.9 %). The differences in nutritional contents observed among forages were explained by both differences in their plant-wall content and the presence of other anti-nutritional factors.

## INTRODUCTION

En élevage de porc biologique, l'affouragement, que ce soit *via* le pâturage des animaux dans le cas d'élevage en plein-air ou *via* la distribution de fourrages conservés pour les animaux élevés en bâtiments, est une obligation réglementaire. Dans certains autres systèmes dits alternatifs (non biologiques), les truies gestantes et les porcs en croissance-finition peuvent avoir accès au pâturage dont la ressource fourragère peut contribuer à la couverture des besoins nutritionnels des animaux. D'un point de vue fonctionnel, les fourrages sont connus pour avoir des effets positifs sur la santé digestive et le bien-être des animaux. Pendant la gestation, au-delà de son effet récréatif, l'apport de fourrages (paille et pâturage compris) permet de contribuer à la satiété alimentaire et au bien-être des truies (Edwards, 2003). Pour les porcs charcutiers, la distribution de fourrages permet de réduire les comportements agonistiques en particulier chez les mâles entiers et de réduire les problèmes de caudophagie (Chou *et al.*, 2020).

D'un point de vue nutritionnel, peu d'informations sont disponibles dans la littérature sur la valeur nutritionnelle des fourrages pâturés ou conservés ce qui limite fortement leur utilisation en alimentation porcine. L'évaluation de la valeur nutritionnelle des légumineuses fourragères (en particulier la luzerne déshydratée) chez le porc a fait l'objet de publications dont les résultats ont été synthétisés dans les tables alimentaires (Heuzé *et al.*, 2016). La faible utilisation digestive des protéines des légumineuses fourragères pourrait être liée aux conditions de déshydratation standards qui favoriseraient des réactions de Maillard (Renaudeau *et al.*, 2020). Par ailleurs, la valeur nutritionnelle des fourrages verts ou conservés en foin ou en enrubannage reste encore mal connue chez le porc. Cela est problématique notamment pour le foin de légumineuses qui est le fourrage le plus utilisé actuellement dans les élevages de porcs biologiques en France.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la valeur nutritionnelle de 10 fourrages présentés sous forme fraîche ou conservée chez le porc en croissance-finition.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Aliments expérimentaux

Cinq essais ont été réalisés à l'UE 3P (<https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) : trois essais de digestibilité fécale (essais 1 à 3) et deux essais de digestibilité iléale (essais 4 et 5). Dans l'essai 1, de la chicorée (au stade 6-7 feuilles), du trèfle violet (TV, stade : 3<sup>ème</sup> semaine de repousse), du raygrass (RGA, stade non déterminé) ont été récoltés et distribués sous forme fraîche. Dans l'essai 2, deux légumineuses fourragères (luzerne (LUZ) et TV) ont été récoltées (stade : début de bourgeonnement) et déshydratées à une température normale (NT) ou basse (BT). Pour les produits NT et BT, les températures mesurées en sortie de séchoir étaient, respectivement, de 130 et 48°C. Dans l'essai 3, la digestibilité fécale a été mesurée sur un foin composé principalement de LUZ, un foin de TV et RGA et un enrubanné de LUZ et TV. La digestibilité iléale a été mesurée sur la LUZ déshydratée NT et BT et sur le foin de LUZ dans l'essai 4, et sur le TV déshydraté NT et BT et le foin TV et RGA dans l'essai 5. La composition chimique de l'ensemble des fourrages est donnée dans le tableau 1. Dans les essais 1 à 3, le régime témoin (T1) été formulé à base de blé et de tourteau de soja.

Sur la base de la matière sèche (MS), l'aliment T1 contenait en moyenne 2,8 % d'azote (N) total, 13,9 % de NDF et 17,7 MJ/kg d'énergie brute (EB). Les régimes expérimentaux ont été constitués sur la base du régime T1 associé avec un des fourrages. Les taux d'incorporation ont été fixés à 20 % sur la base de la MS sauf pour les formes fraîches (de 11 à 15 %). Dans les essais 4 et 5, un régime témoin (T2) a été formulé à base d'amidon de maïs et de caséine comme seule source de protéines. L'aliment T2 contenait en moyenne 2,5 % de N total, 1,8 % de NDF et 17,6 MJ/kg d'EB. Les régimes expérimentaux ont été constitués à partir de 80 % de T2 et 20 % d'un fourrage unique. Un régime protéoprive formulé principalement à base d'amidon de maïs a également été utilisé pour déterminer l'excrétion endogène basale de chaque animal. Tous les régimes expérimentaux ont été distribués en deux à quatre repas par jour (selon le fourrage) sous forme humidifiée. Les animaux avaient un accès libre à l'eau.

### 1.2. Animaux

Dans les essais 1 à 3, 56 porcs mâles entiers croisés Piétrain × (Large White × Landrace) d'environ 80 kg en début d'essai ont été utilisés. La digestibilité apparente totale de l'énergie et des nutriments a été mesurée sur quatre à cinq porcs mâles entiers par régime. Dans les essais 4 et 5, la digestibilité iléale de la protéine et des acides aminés a été mesurée avec quatre porcs mâles entiers par fourrage équipés d'une anastomose iléo-rectale. L'utilisation de ces animaux opérés permet de s'affranchir de l'impact des synthèses et dégradations microbiennes dans le gros intestin pendant la mesure de la digestibilité des acides aminés (AA) d'origine alimentaire.

### 1.3. Déroulement des essais

Dans les essais 1 à 3, les animaux ont été logés dans des cases individuelles de 2 m<sup>2</sup> pendant 11 jours d'adaptation au régime expérimental. Les animaux sont ensuite placés dans des cages de digestibilité pendant 11 jours. Le niveau d'alimentation a été fixé à 140 g/kg PV<sup>0.60</sup> et la ration a été distribuée en deux repas équivalents. Après 3 jours d'adaptation à la cage, les fèces et les urines ont été collectées pendant 7 jours consécutifs. Les animaux ont été pesés à l'entrée et à la sortie des cages de digestibilité.

Après une période de repos post-opératoire de 3 semaines, les porcs des essais 4 et 5 ont reçu successivement un des quatre régimes expérimentaux selon un schéma en carré latin complet au cours de quatre périodes successives. Tous les animaux ont reçu le régime protéoprive dépourvu de protéines lors d'une cinquième période de collecte. 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. Le niveau d'alimentation a été fixé à 100 g/kg PV<sup>0.60</sup> et la ration a été distribuée (au moins) en deux repas.

Dans les deux essais, la totalité des digestats a été pesée, mélangée, échantillonnée en double et congelée à l'issue de chaque période de collecte. Un échantillon a été utilisé pour la mesure de la teneur en MS. L'autre échantillon a été lyophilisé pour les analyses de laboratoire. Pendant les périodes de collecte, des échantillons des régimes témoins et des fourrages 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 MS, l'autre partie a été conservée pour les analyses de laboratoire (repas fictifs).

#### 1.4. Analyses de laboratoire, calculs et statistiques

Les repas fictifs et les digestats ont été analysés pour leurs teneurs en matières minérales (MM), matière organique (MO), N total, cellulose brute de Weende (CB), fibres de van Soest (NDF, ADF, ADL), et EB. Les teneurs en AA ont été mesurées sur le régime T2, les fourrages, et l'ensemble des digestats collectés dans les essais 4 et 5. La teneur en N protéique a été calculée comme la somme de l'N apporté par chaque AA.

Dans les essais 1 à 3, les coefficients d'utilisation digestive (CUD) fécaux apparents de MO, N et de l'énergie (E) ont été calculés sur la base des quantités d'aliments ingérées, de fèces excrétées et des analyses chimiques sur ces deux matrices. Dans les essais 4 et 5, les CUD iléaux apparents ont été calculés pour MO, N, EB et les AA. La digestibilité apparente a été corrigée par une excrétion azotée endogène basale 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 les essais 1 à 3, le modèle prenait en compte les effets du régime. Pour les essais 4 et 5, le modèle prenait en compte les effets de la période de collecte, de l'animal et du régime. Un seuil de significativité de 5 % a été retenu pour l'analyse.

Les valeurs des digestibilités fécales de la MO, N et de l'EB et de digestibilité iléale des AA ont été déterminées par une méthode reposant sur le principe de l'additivité des teneurs en MO, N, EB et AA digestibles entre les régimes témoins (T1 ou T2) et les régimes expérimentaux. Nous avons considéré que la variation des teneurs en éléments digestibles entre l'aliment témoin et un régime expérimental composé d'aliment témoin et d'un fourrage est strictement proportionnelle au taux d'incorporation du fourrage dans cet aliment expérimental. Ainsi, nous faisons l'hypothèse d'une absence d'interactions digestives entre les nutriments des régimes témoins et des fourrages.

**Tableau 1** - Composition chimique des 10 fourrages<sup>1</sup>

Ressource	Formes « fraîches »			Formes « déshydratées »				Foins		Enrub. LUZ/TV
	Chicorée	Trèfle violet (TV)	Raygrass (RGA)	Luzerne (LUZ)		TV		LUZ	TV/RGA	
				NT	BT	NT	BT			
Matière sèche (MS), %	19,2	20,0	26,6	88,5	89,7	85,9	87,5	86,9	88,8	59,2
Minéraux, % MS	13,9	12,3	8,2	10,3	10,3	9,8	9,5	14,9	7,0	9,6
Azote, % MS	2,4	3,4	1,8	3,5	3,5	2,0	2,0	2,5	1,6	3,0
Azote non protéique, % N	28,4	34,5	30,3	30,3	31,6	31,0	33,6	37,2	31,3	46,1
Cellulose brute, % MS	18,3	21,6	24,2	24,6	25,0	21,4	19,4	36,2	28,3	26,7
NDF, % MS	37,9	39,0	51,7	39,6	38,1	36,9	36,9	56,1	52,2	45,5
ADF, % MS	22,7	22,4	25,3	26,4	26,3	23,1	23,4	38,8	31,3	31,4
ADL, % MS	5,2	4,6	2,0	5,8	5,5	4,5	5,3	10,7	6,2	8,5
Energie brute, MJ/kg MS	17,4	18,3	18,2	18,4	18,5	18,3	18,4	17,4	18,3	19,0
Acides aminés, % MS										
Essentiels	6,48	8,16	4,79	8,51	8,30	7,44	7,45	5,60	3,97	5,72
Arginine	0,72	0,91	0,56	0,93	0,91	0,76	0,78	0,56	0,42	0,61
Histidine	0,30	0,37	0,21	0,45	0,42	0,37	0,37	0,23	0,19	0,27
Isoleucine	0,65	0,79	0,46	0,84	0,83	0,76	0,75	0,58	0,40	0,62
Leucine	1,19	1,46	0,84	1,45	1,42	1,33	1,32	1,00	0,70	1,11
Lysine	0,77	1,02	0,63	1,11	1,06	0,81	0,78	0,67	0,46	0,45
Méthionine	0,38	0,42	0,27	0,45	0,43	0,40	0,41	0,33	0,21	0,30
AA soufrés	0,75	0,93	0,55	0,94	0,93	0,87	0,85	0,65	0,44	0,71
Phénylalanine	0,62	0,84	0,49	0,89	0,84	0,77	0,79	0,60	0,44	0,61
Thréonine	0,24	0,32	0,20	0,35	0,34	0,31	0,30	0,19	0,15	0,23
Valine	0,86	1,09	0,60	1,10	1,12	1,06	1,09	0,79	0,55	0,82
Non essentiels										
Alanine	0,85	1,07	0,73	1,04	1,03	0,92	0,93	0,73	0,55	0,77
Asparagine	1,39	2,04	0,94	3,55	3,46	2,91	2,74	1,95	1,33	1,78
Cystine	0,13	0,15	0,11	0,22	0,22	0,14	0,15	0,16	0,11	0,14
Glutamine	1,58	1,98	1,14	1,99	1,92	1,74	1,78	1,35	1,01	1,38
Glycine	0,79	0,96	0,57	0,95	0,93	0,87	0,86	0,70	0,51	0,76
Proline	0,84	1,01	0,54	1,26	1,23	1,44	1,33	1,01	0,62	0,85
Serine	0,62	0,87	0,48	1,00	0,98	0,89	0,88	0,69	0,49	0,62
Tyrosine	0,53	0,73	0,37	0,72	0,70	0,68	0,64	0,48	0,36	0,52

<sup>1</sup> NT : déshydraté à une température normale, BT : déshydraté à une basse température, Enrub. : enrubanné.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Caractéristiques chimiques des matières premières étudiées

La composition chimique des fourrages testés dans le cadre de cette étude est donnée dans le tableau 1. Les fourrages distribués en vert contiennent de très fortes teneurs en eau qui nous ont obligé à limiter les taux d'incorporation dans les

régimes expérimentaux à 13,6, 15,0 et 10,9 %, respectivement pour la chicorée, le trèfle violet et le raygrass. Parmi ces trois fourrages, le raygrass à la teneur en N total la plus faible (1,8 %), le trèfle violet la teneur la plus élevée (3,4 %). Une teneur intermédiaire est rapportée pour la chicorée (2,4 %). Une proportion significative de N est sous la forme non protéique (de 28,4 à 34,5 %). Cette fraction azotée non protéique a une valeur nutritionnelle presque nulle pour les porcs si l'on excepte les AA libres qu'elle contient. Les teneurs en AA sont en accords

avec les dosages de N total. La teneur en AA essentiels est très nettement supérieure pour le trèfle violet en comparaison du raygrass (8,16 vs 4,79 %); une valeur intermédiaire est rapportée pour la chicorée (6,48 %). Les trois fourrages frais se distinguent également par leurs teneurs en parois végétales (estimées ici par les teneurs en cellulose brute ou en NDF et ADF) avec une des plus fortes teneurs pour le raygrass. La luzerne et le trèfle violet déshydratés se différencient aussi par leurs teneurs en N total et en parois végétales (luzerne > trèfle violet). Logiquement, la température de déshydratation n'a pas eu d'effet notable sur la composition chimique de ces deux légumineuses fourragères. Enfin, les foin sont les ressources qui contiennent le plus de parois végétales comparativement aux autres ressources fourragères.

Il est probable que les pertes de feuilles pendant les opérations de fanage et d'andainage aient occasionné une augmentation de la concentration en tiges dans les foin. Les très fortes teneurs en lignine dosée dans les foin semblent confirmer cette hypothèse. Près de 50 % du N total sont composés de N non protéique pour l'enrubannage de trèfle et de luzerne contre 37,2 et 31,3 % pour les foin de luzerne et de trèfle/raygrass. La forte teneur en N non protéique dans l'enrubannage traduit des phénomènes de protéolyse qui commencent dès que la plante est fauchée et qui se poursuivent durant la conservation, sous l'action des enzymes de la plante et des bactéries protéolytiques présentes dans le fourrage (Fijałkowska *et al.*, 2015).

**Tableau 2** - Utilisation digestive et teneurs en énergie et en nutriments digestibles des différents types de fourrages chez le porc en finition

Ressource	Formes « fraîches »			Formes « déshydratées »				Foin		Enrub.
	Chicorée	Trèfle Violet (TV)	Raygrass (RGA)	Luzerne		Trèfle violet		LUZ	TV/RGA	LUZ/TV
				NT	BT	NT	BT			
Digestibilité, %										
Matière organique (MO)	68,6	62,1	63,2	60,0	60,0	64,4	55,6	40,3	45,9	61,1
Azote (N)	59,8	52,6	52,7	57,7	60,3	45,4	35,5	43,2	37,0	48,6
Energie (E)	63,6	56,7	58,5	52,6	52,9	57,9	47,2	34,4	40,0	54,9
MO digestible, g/kg MS	592	545	580	535	538	581	503	343	427	552
N digestible, g/kg MS	14,5	17,8	9,7	20,3	21,0	14,3	11,3	10,8	6,0	14,4
E digestible, MJ/kg MS	11,05	10,39	10,66	9,69	9,78	10,63	8,69	6,00	7,34	10,41
E métabolisable, MJ/kg MS	10,85	10,21	10,51	9,45	9,54	10,38	8,48	5,84	7,18	10,13

## 2.2. Utilisation digestive fécale et valeur énergétique des fourrages chez le porc

Comparativement aux matières premières « conventionnelles », les données de la littérature sur la mesure de la digestibilité fécale des fourrages sont limitées aux fourrages déshydratés (Lindberg et Andersson, 1998 ; Renaudeau *et al.*, 2020).

Même à des taux d'incorporation faibles dans le mélange avec le régime T1, l'introduction de fourrages dans la ration se traduit par une réduction significative du CUDE (résultats non présentés). A partir de nos résultats obtenus sur les régimes expérimentaux, il est possible de calculer des régressions entre les teneurs en parois végétales (CB ou NDF, % de la MS) et le CUDE (équations 1 et 2). En accord avec les données de la bibliographie (Le Goff et Noblet, 2001), ces équations illustrent les effets négatifs des parois végétales sur l'utilisation digestive de l'énergie. Le CUDE diminue d'environ 1,2 points par point de NDF supplémentaire dans le régime. Cette pente est légèrement supérieure à la pente négative de 0,9 % calculée à partir de données de digestibilité obtenues sur un grand nombre de régimes formulés à partir de matières premières conventionnelles (Le Goff et Noblet, 2001).

$$\text{CUDE, \%} = 102,5 - 1,16 \times \text{NDF, ETR} = 1,42 \%, R^2 = 0,86 \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{CUDE, \%} = 90,9 - 1,57 \times \text{CB, ETR} = 1,43 \%, R^2 = 0,86 \text{ (Eq. 2)}$$

Sur la base des teneurs moyennes en énergie digestible (ED) calculées sur le régime T1 seul et sur les régimes expérimentaux (T1+fourrages), il est possible de calculer la teneur en ED et le CUDE de chaque fourrage. Pour une température de séchage classique, le CUDE (52,6 %) et la teneur en ED (9,7 MJ/kg MS) de la luzerne déshydratée sont proches des valeurs obtenues dans un essai précédent (50,8 % et 9,8 MJ/kg MS ; Renaudeau *et al.*, 2020) et légèrement supérieures aux valeurs rapportées par

Lindberg et Andersson (1998, respectivement 50 % et 9,1 MJ/kg MS). Cette variation est probablement liée à des différences de teneur en NDF (46,5 vs. 39,6 %) des luzernes utilisées dans les deux études. En accord avec Lindberg et Andersson (1998), la valeur énergétique du trèfle violet déshydraté est supérieure à celle de la luzerne (ED : 10,6 vs. 9,7 MJ/kg MS) ce qui cohérent avec la différence de teneurs en parois végétales entre les deux légumineuses fourragères. La diminution de la température de séchage n'a eu aucun effet sur la valeur énergétique de la luzerne alors qu'elle réduit fortement celle du trèfle violet (ED : 10,6 vs. 8,7 MJ/kg MS, respectivement pour les formes NT et BT). Etant donnée que la teneur en parois végétales ne varie pas entre les formes NT et BT, ce résultat indique qu'une température de déshydratation trop faible n'est pas suffisante pour réduire l'activité des facteurs antinutritionnels thermosensibles présents naturellement dans le trèfle.

A notre connaissance, les données sur la valeur nutritionnelle des fourrages frais ou conservés en foin ou en enrubannage sont rares voire inexistantes chez le porc. Globalement, les fourrages distribués sous forme fraîche ont un CUDE et une teneur en ED plus élevés comparativement aux formes déshydratées. En revanche, compte tenu de leur très faible teneur en MS, la hiérarchie s'inverse totalement quand la teneur en ED est exprimée sur la base du frais. La teneur en ED du raygrass frais est supérieure à la valeur rapportée dans la littérature pour une forme déshydratée (10,6 vs 9.1 MJ/kg MS ; Lindberg et Andersson, 1998). Sur la base du sec, la teneur en ED du trèfle violet distribué en frais est similaire à celle du trèfle NT. Dans nos conditions expérimentales, le CUDE de la chicorée est supérieur à celui du trèfle violet ou du raygrass frais (Tableau 2). Compte tenu de la plus faible valeur en EB de la chicorée, ces différences entre fourrages s'annulent lorsque l'on s'intéresse à leur teneur en ED.

Les teneurs réduites en ED des foins de luzerne et de trèfle violet/raygrass (respectivement 5,8 et 7,2 MJ/kg MS) sont à mettre en relation avec leurs très faibles CUDE (respectivement 34,4 et 40,0 %). Cette faible digestibilité est probablement liée à leur forte teneur en parois végétales lignifiées. L'enrubannage d'une ressource riche en eau est connu pour aider à la préservation de sa valeur énergétique. Cet effet semble être vérifié dans notre étude car la teneur en ED de la forme enrubannée est assez similaire aux valeurs des fourrages déshydratés.

**Tableau 3 – Digestibilité iléale standardisée de l'énergie (%), des nutriments et des acides aminés des fourrages chez le porc en croissance**

	Formes « déshydratées »				Foins	
	Luzerne		Trèfle violet		LUZ	TV/ RGA
	NT	BT	NT	BT		
Energie	28,1	28,9	33,4	30,7	15,4	19,2
Azote total	48,4	48,0	33,4	30,7	37,7	-1,9
Azote protéique	52,5	53,6	47,3	43,1	43,2	17,2
AA essentiels						
Arginine	73,2	74,1	67,4	64,3	64,1	40,2
Histidine	55,6	50,9	43,8	44,6	45,1	13,9
Isoleucine	45,1	46,7	45,1	42,7	34,5	13,3
Leucine	61,4	60,5	61,7	59,5	55,8	37,3
Lysine	58,8	57,2	46,8	42,0	46,9	25,9
Méthionine	70,0	66,6	52,5	49,9	65,2	13,5
AA souffrés	50,5	47,4	29,1	26,3	45,1	-10,4
Phénylalanine	66,4	67,2	66,2	64,8	63,5	46,2
Thréonine	32,8	31,0	21,2	23,5	18,2	-20,0
Tryptophane	37,3	34,6	28,4	25,0	23,3	-15,5
Valine	49,2	52,6	46,2	46,7	40,8	14,7
AA non essentiels						
Alanine	57,5	57,9	52,0	49,5	49,9	26,6
Asparagine	74,4	72,5	63,8	57,7	62,6	45,6
Glutamine	37,6	38,4	28,2	26,1	20,0	1,6
Glycine	34,7	33,9	31,8	33,5	15,5	-8,2
Proline	54,2	58,9	54,6	44,9	46,3	13,1
Serine	11,3	16,1	4,8	3,1	-3,7	-45,7
Tyrosine	59,8	59,2	59,5	56,1	53,2	34,5

### 2.3. Utilisation digestive iléale et valeur protéique des fourrages chez le porc

Pour les essais 4 et 5, la digestibilité iléale des fractions azotées des régimes expérimentaux est significativement réduite par une introduction de fourrage à hauteur de 20 % (résultats non présentés). Nos résultats montrent que tous les AA ne sont pas affectés de la même manière en réponse à l'ajout de fourrages déshydratés ou de foin. Parmi les AA dont le CUDE est le plus affecté, nous retrouvons la glutamine, le tryptophane et surtout la thréonine et la glycine. Pour ces AA, la réduction du CUDE entre le régime T2 et les régimes avec fourrage atteint en moyenne 22 points contre seulement 6 points pour la lysine (résultats non présentés). Cet effet est accentué pour les régimes expérimentaux incluant du foin et se traduit directement par des faibles CUDE calculés pour chaque fourrage. La glycine comme la thréonine sont des AA dont la concentration est connue pour être élevée dans les sécrétions digestives d'origine endogène. Ces pertes endogènes peuvent être divisées en deux fractions : l'une correspondant au niveau de base inévitable (fraction non spécifique considérée constante pour un niveau d'ingestion donné) et l'autre liée aux facteurs alimentaires (fraction spécifique). En théorie,

l'utilisation d'un régime protéoprive dans nos essais 4 et 5 nous a permis de prendre en compte correctement la première fraction dans nos calculs de la digestibilité iléale standardisée. Cependant, la seconde fraction, qui peut devenir très importante pour certaines matières premières riches en facteurs antinutritionnels (parois végétales, etc.) (Leterme et Théwis, 1995), ne peut matériellement pas être prise en compte dans nos études. En conséquence, nous pouvons supposer que la digestibilité iléale de la glutamine, la thréonine et la glycine des fourrages est probablement sous-estimée en lien avec notre incapacité à corriger les fractions indigestibles par les flux provenant de l'endogène spécifique.

Quel que soit le fourrage considéré, la DIS du N total est systématiquement inférieure à la DIS de la fraction de N protéique (Tableau 3). Cet écart est lié à une plus forte concentration en N non protéique dans les digestats comparativement aux aliments distribués aux animaux (44 vs. 20 g/100 g N total pour les régimes intégrant des fourrages). Bien que la teneur en N non protéique dans les fourrages étudiés dans les essais 4 et 5 soit relativement similaire, l'écart entre les DIS du N total et du N protéique est plus important pour les fourrages produits à partir du trèfle violet (déshydratés ou foin). Ce résultat semble indiquer des différences dans la composition et/ou dans l'utilisation digestive de la fraction azotée non protéique du trèfle par rapport à celle de la luzerne.

Contrairement au régime T2 où la quasi-totalité de l'EB est digérée au niveau iléal, les CUDEs de l'EB mesurés pour les fourrages varient de 33,4 % pour le trèfle NT à 15,4 % pour le foin de luzerne. Cette faible digestibilité est probablement liée à la forte teneur en parois végétales des fourrages qui ont pour effet d'augmenter les flux endogènes (effet abrasif sur la paroi, production de mucus, augmentation du transit) mais également réduire la réabsorption des matières endogènes par le tube digestif (Leterme et Théwis, 1995). Nos résultats montrent aussi que les différences de CUDEs entre fourrages ne sont pas totalement expliquées par une variation de la concentration en parois végétales. Ainsi, le CUDE du trèfle NT est supérieur à celui de la luzerne NT (33,4 vs. 28,1 %). La même observation peut être faite lorsque l'on compare le foin de luzerne et le foin de trèfle violet/raygrass. Ces résultats semblent indiquer qu'au-delà de la teneur en parois végétales, leur nature et/ou la présence d'autres facteurs antinutritionnels pourraient également expliquer des différences de digestibilité de l'énergie mesurées au niveau iléal. Même si les essais de digestibilité fécale et iléale n'ont pas été conduits sur des porcs ayant la même gamme de poids, il est possible d'estimer que seulement 45 % (foin de luzerne) à 65 % (trèfle BT) de l'énergie des fourrages est absorbée au niveau iléal. Ces résultats sont en accord avec ceux publiés dans la littérature (Andersson et Lindberg, 1997a).

Pour une température de déshydratation normale, le CUDE du N total calculé pour la luzerne (48 %) est proche de celui mesuré par Andersson et Lindberg (1997b ; 52 %). En revanche, le CUDE de la lysine de la luzerne NT est plus faible que les valeurs rapportées dans la littérature (59 % vs. 65 et 71 % d'après, respectivement, Reverter et Lindberg (1998) et Reverter *et al.* (1999)) pour des farines de feuilles de luzerne pourtant plus riches en NDF (46,5 vs. 39,6 %). Ces différences entre études observées pour le CUDE de la lysine sont retrouvées pour la plupart des autres AA. Cela suggère que la forte teneur en parois végétales de la luzerne n'est pas le seul facteur qui explique la faible utilisation digestive des AA. Dans les deux

études publiées par Reverter, la luzerne a été récoltée à un stade similaire au nôtre mais déshydratée à une très faible température (25°C pendant au moins 72 heures). De plus, leurs régimes expérimentaux contenant de la luzerne déshydratée ont été granulés avant d'être distribués aux animaux. Sur la base de ces éléments, nous pouvons supposer qu'une partie des différences observées sur le CUDs des AA pourrait être liée à la fois aux conditions de déshydratation (moins de réactions de Maillard) et/ou à la présentation (granulés vs. farine dans notre étude) qui auraient permis de réduire les teneurs en facteurs nutritionnels sensibles à la chaleur. Ces hypothèses sont purement spéculatives et demandent à être vérifiées par des essais spécifiques. Dans notre étude, la réduction de la température de déshydratation (50 vs. 130°C en sortie de séchoir) n'a toutefois pas permis d'améliorer la digestibilité iléale des AA de la luzerne.

Comme observé au niveau fécal, le CUDs de l'énergie du trèfle NT est supérieur à celui de la luzerne NT alors que l'effet inverse est rapporté pour le CUDs de N et de la majorité des AA. Ainsi, par exemple, la DIS de lysine est inférieure pour le trèfle NT (46,8 vs. 58,8 % pour la luzerne NT). Au contraire, Reverter *et al.* (1999) montrent que le CUDs de la lysine est supérieur pour le trèfle violet comparativement à la luzerne déshydratée (76,0 vs. 71,0 %). Contrairement aux résultats obtenus sur la luzerne, la diminution de la température de déshydratation a fortement impacté le CUDs de l'énergie (-3,9 points), du N total ou protéique (respectivement -6,9 et -4,2 points) et de la plupart des AA du trèfle. Ainsi, le CUDs de la lysine diminue d'environ 5 points quand la température de déshydratation du trèfle est réduite. Ces résultats suggèrent la présence d'inhibiteurs de protéase dans le trèfle qui pourraient être partiellement ou totalement inactivés sous l'effet de la chaleur. Le trèfle est connu pour contenir des teneurs élevées en polyphénol oxydase qui en présence de polyphénols produit des quinones qui ont la propriété de créer des complexes avec les protéines et les rendre plus difficilement hydrolysables par les protéases digestives (Renaudeau *et al.*, 2022).

La quantité d'énergie digérée au niveau iléal est très faible pour les foin comparativement aux autres fourrages probablement en lien avec leurs fortes teneurs en parois végétales. En accord avec les résultats obtenus au niveau fécal, le CUDs de l'énergie est supérieur pour le foin de trèfle/raygrass en comparaison au foin obtenu à partir de la luzerne (19,2 vs. 15,4 MJ/kg MS). La très faible digestibilité iléale des AA des foin est à mettre en relation avec la forte teneur en parois végétales de ces derniers (NDF > 50 %). Dans nos conditions expérimentales, la valeur protéique du foin de trèfle violet/raygrass est quasi nulle. Ce résultat s'explique par sa faible teneur en N protéique et en AA et par le fait que ces fractions azotées sont très peu digestibles chez le porc.

## CONCLUSION

Ce travail a permis de produire des données originales sur la valeur nutritionnelle des fourrages frais ou conservés chez le porc. Nos résultats montrent clairement que la faible digestibilité de l'énergie et des fractions azotées des fourrages n'est pas totalement expliquée par leurs fortes teneurs en parois végétales et que d'autres facteurs anti nutritionnels sont impliqués notamment sur l'utilisation digestive de N. La réduction de la température de déshydratation ne permet pas d'améliorer la valeur nutritionnelle des légumineuses fourragères et peut même dans certains cas (trèfle violet) avoir des effets délétères. Dans le panel des fourrages étudiés, les foin, et en particulier le foin de trèfle violet/raygrass, ont la valeur nutritionnelle la plus faible.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée dans le cadre du projet CASDAR VALORAGE, financé par le Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. Les auteurs remercient la coopérative DeshyOuest pour la fourniture des fourrages déshydratés et les agriculteurs (L. Ruau, B. Desaint) pour la fourniture de l'enrubanné et des foin.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andersson C., Lindberg J.E., 1997a. Forages in diets for growing pigs 2. Nutrient apparent digestibilities and partition of nutrient digestion in barley-based diets including red clover and perennial ryegrass meal. *Anim. Sci.*, 65, 493-500.
- Andersson C., Lindberg J.E., 1997b. 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. *Anim. Sci.*, 65, 483-491.
- Chou J.-Y., O'Driscoll K., Sandercock D.A., D'Eath R.B., 2020. Can increased dietary fibre level and a single enrichment device reduce the risk of tail biting in undocked growing-finishing pigs in fully slatted systems? *PLoS ONE*, 15, e0241619.
- Edwards S.A., 2003. Intake of nutrients from pasture by pigs. *Proc. Nutr. Soc.*, 62, 257-265.
- Fijałkowska M., Lipiński K., Pysera B., Wierzbowska J., Anotoszkiewicz Z., Sienkiewicz S., Stasiewicz M., 2015. The effect of ensiling in round bales on the content of nitrogen fractions in lucerne and red clover protein. *J. Elementology*, 20, 285-291.
- Le Goff G., Noblet J., 2001. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journée Rech. Porcine*, 33, 211-220.
- Leterme P., Théwis A., 1995. La digestibilité iléale réelle des acides aminés chez le porc : méthode d'estimation et intérêt pratique. *Journée Rech. Porcine*, 27, 197-208.
- Lindberg J.E., Andersson C., 1998. The nutritive value of barley-based diets with forage meal inclusion for growing pigs based on total tract digestibility and nitrogen utilization. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 43-52.
- Renaudeau D., Duputel M., Calvar C., 2020. Valeurs énergétique et protéique des feuilles de luzerne chez le porc en croissance. *Journée Rech. Porcine*, 52, 75-80.
- Renaudeau D., Jensen S.K., Ambye-Jensen M., Adler S., Bani P., Juncker E., Stødkilde L., 2022. Nutritional values of forage-legume-based silages and protein concentrates for growing pigs. *Animal*, 16, 100572.
- 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*). *Br. J. Nut.*, 82, 139-147.