Les différents intérêts des légumineuses pour l'alimentation animale

René Baumont, D. Bastien, Alexis Férard, Gaëlle Maxin, Vincent Niderkorn

▶ **To cite this version:**

René Baumont, D. Bastien, Alexis Férard, Gaëlle Maxin, Vincent Niderkorn. Les différents intérêts des légumineuses pour l'alimentation animale. Journées AFPF, Les légumineuses fourragères et prairiales : quoi de neuf ?„ Mar 2016, Paris, France. hal-02743517

HAL Id: hal-02743517
https://hal.inrae.fr/hal-02743517

Submitted on 3 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants

R. Baumont[1, 2], D. Bastien[3], A. Férard[4], G. Maxin[1, 2],V. Niderkorn[1, 2]

1 : INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle ; baumont@clermont.inra.fr

2 : Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand

3 : Institut de l'Elevage (Idele), Monvoisin, BP 85225, F-35652 Le Rheu

4 : Arvalis-Institut du Végétal ; Station expérimentale de la Jaillère, F-44370 La-Chapelle-Saint-Sauveur

Résumé

Les légumineuses fourragères et prairiales présentent de nombreux intérêts pour l'alimentation des ruminants. Riches en azote et très ingestibles, elles permettent d'obtenir des performances animales élevées, tant au pâturage qu'avec des rations hivernales, et de faire des économies importantes d'aliments concentrés protéiques. Les légumineuses présentent également des effets intéressants par rapport à la santé des animaux, à leurs rejets dans l'environnement et à la qualité du lait et de la viande. Ces effets peuvent provenir des tannins condensés, présents dans le sainfoin par exemple, et de la polyphénol oxydase présente dans le trèfle violet, qui ont pour effet de modifier le métabolisme des protéines et des lipides du fourrage dans le tube digestif. Les tannins condensés ont également des propriétés antihelminthiques et antiméthanogènes. Cet article fait le point sur les données récentes acquises sur les principales légumineuses : la luzerne, le trèfle blanc, le trèfle violet et le sainfoin.

Introduction

Après une forte régression des légumineuses fourragères cultivées en pur (luzerne, trèfle violet…) depuis les années 1960, on constate toutefois un certain regain d'intérêt pour ces couverts depuis la flambée du prix du tourteau de soja. En revanche, l'utilisation du trèfle blanc dans des prairies d'association pâturées est en constante augmentation depuis le milieu des années 1980. On constate également un regain d'intérêt pour les associations fourragères à base de luzerne et, même si cela reste marginal en termes de volumes, pour les légumineuses à tannins cultivées en pur (sainfoin) ou en prairies d'association (lotier, minette…). Selon SCHNEIDER *et al.* (2015) l'ensemble des légumineuses fourragères et prairiales produites en France par les surfaces toujours en herbe, les prairies temporaires et artificielles représentent environ 13,6 Millions de tonnes de MS par an soit un peu plus de 15 % de la totalité des fourrages consommés par les ruminants.

Les légumineuses présentent beaucoup d'intérêts agronomiques et zootechniques liés à la fixation symbiotique de l'azote pour leur nutrition et à leur teneur élevée en matières azotées. Parmi les trois principales légumineuses fourragères, le trèfle blanc est avant tout utilisé au pâturage, le trèfle violet en ensilage et plus occasionnellement au pâturage dans des prairies d'association ; et la luzerne, classiquement utilisée en foin ou déshydratée, voit son utilisation en enrubanné augmenter. Les éleveurs laitiers interrogés dans le programme LUZFIL (Pays de Loire) motivent leur utilisation de la luzerne par l'amélioration de l'autonomie protéique et les effets agronomiques positifs, mais aussi par des effets positifs sur la santé des animaux. Toutefois, ils en soulignent aussi la complexité de la récolte et la difficulté de conservation.

Aujourd'hui, l'alimentation des ruminants ne se raisonne plus uniquement en fonction des objectifs de production des animaux, mais aussi vis-à-vis de son impact sur l'autonomie protéique de l'exploitation, la santé animale, la qualité des produits et les rejets dans l'environnement. Les légumineuses fourragères présentent de nombreux intérêts vis-à-vis de ces différentes dimensions et sont considérées comme une des clés de la conception de systèmes de production de ruminants compétitifs et durables (LÜSCHER *et al.,* 2014). L'objectif de ce texte est de faire ressortir les intérêts variés, mais aussi les quelques limites, des légumineuses dans l'alimentation des ruminants en s'appuyant sur des résultats récents d'essais zootechniques et de travaux de recherche en nutrition animale.

1. Valeur alimentaire et performances animales

1.1. Valeur alimentaire

– Différences entre graminées et légumineuses

Les légumineuses sont plus riches en matières azotées totales (MAT) que les graminées ainsi qu'en certains minéraux, en particulier le calcium (*cf. Tables INRA*, BAUMONT *et al.,* 2007). Elles sont plus pauvres en glucides solubles et en parois végétales totales (NDF). Mais, du fait d'une digestibilité du NDF plus faible, la digestibilité de la matière organique (dMO) des légumineuses à tiges (luzerne, trèfle violet, sainfoin) et par conséquent leur valeur énergétique est généralement plus faible ou équivalente à celle des graminées. En revanche, le trèfle blanc, du fait de l'absence de tiges dans le fourrage consommé et de sa teneur en NDF particulièrement faible, se distingue par une digestibilité particulièrement élevée et supérieure à celle des graminées. Au cours d'un cycle de végétation, la digestibilité des légumineuses diminue moins vite que celle des graminées et leur valeur alimentaire est donc plus stable dans le temps. En particulier, la proportion de légumineuses est un déterminant important de la valeur alimentaire et de sa stabilité au cours de la saison pour les prairies permanentes (MICHAUD *et al.,* 2014) et les prairies temporaires (HUYGHE *et al.,* 2008).

A même digestibilité, l'ingestibilité des légumineuses est supérieure de 10 à 15 % à celle des graminées. Les légumineuses sont ingérées plus vite que les graminées, nécessitent moins de temps de mastication pour réduire la taille de leurs particules, et sont dégradées plus rapidement par les microbes du rumen. En conséquence, leur temps de séjour dans le rumen est moins long que celui des graminées (BAUMONT *et al.,* 2002) ce qui explique leur ingestibilité supérieure. Comme pour la digestibilité, la diminution de l'ingestibilité au cours d'un cycle de végétation est plus lente pour les légumineuses, tout particulièrement pour le trèfle blanc. Par ailleurs, l'incorporation de légumineuse

dans un mélange de fourrages peut stimuler l'ingestion des animaux au-delà d'un simple effet additif. Ainsi, l'ingestion d'un mélange d'ensilages de dactyle et de trèfle violet par des moutons est supérieure de + 10 % par rapport à la réponse attendue à partir de l'ingestibilité des deux ensilages distribués seuls (NIDERKORN *et al.,* 2015).

La teneur élevée en MAT des légumineuses est associée à une dégradabilité élevée des protéines dans le rumen. En conséquence, les légumineuses présentent un fort déséquilibre entre la valeur PDIN, qui dépend directement des MAT dégradables dans le rumen, et la valeur PDIE qui dépend de la digestibilité du fourrage. Ce déséquilibre atteint + 60 g de PDIN / kg MS pour du trèfle blanc au stade pâturage alors qu'il n'est que de + 30 g de PDIN pour du ray-grass anglais. L'utilisation des légumineuses dans des rations nécessite donc de rééquilibrer la ration par les autres fourrages et compléments pour améliorer l'efficacité globale de l'utilisation de l'azote.

– Spécificités des légumineuses bioactives

Les tannins condensés (TC) sont des polymères de flavonoïdes situés dans les vacuoles des cellules végétales. Ils sont présents dans certaines légumineuses (sainfoin, lotier…). Leurs teneurs, leurs structures biochimiques et leurs activités biologiques, qui varient avec de nombreux facteurs (espèces, variétés, organes, mode de conservation, environnement pédoclimatique), font que leurs effets sur l'ingestion et la digestion chez les ruminants sont encore difficiles à quantifier et à prévoir (c*f*. synthèses de WAGHORN 2008 ; PATRA et SAXENA 2011 ; AUFRERE *et al.,* 2012 et 2013). Toutefois, on considère qu'à des teneurs ne dépassant pas 50-60 g/kg de MS, conditions généralement observées pour les légumineuses de milieu tempéré, les TC n'ont pas d'effet négatif sur l'ingestibilité et la digestibilité du fourrage. Ainsi, AUFRERE *et al.* (2008 et 2013) ont mesuré une ingestibilité du sainfoin comparable à celle de la luzerne.

Une propriété bien connue des TC est de former des complexes avec les protéines, ce qui réduit leur dégradabilité dans le rumen et augmente le flux de protéines alimentaires dans l'intestin (MIN *et al.,* 2003). Ainsi, la dégradabilité des MAT du sainfoin dans le rumen est réduite de 20 points environ par rapport à ce qu'elle serait en l'absence de TC (THEODORIDOU *et al.,* 2010 et 2011). Mais la digestibilité des protéines alimentaires dans l'intestin est également réduite, vraisemblablement parce que les complexes tannins-protéines ne sont pas complètement dissociés dans la caillette ou qu'ils se reforment dans l'intestin. Au final, à même teneur en MAT, la valeur PDIN du sainfoin est plus faible de 10 à 20 g/kg de MS par rapport à celle de la luzerne, ce qui lui confère un meilleur équilibre entre PDIN et PDIE (AUFRERE *et al.,* 2012).

Un autre composé secondaire d'intérêt pour réduire la dégradabilité des protéines est la polyphénol oxydase (PPO) présente dans la majorité des génotypes de trèfle violet. Celle-ci catalyse l'oxydation des composés phénoliques en quinones, des composés hautement réactifs pour se lier aux protéines (LEE *et al.,* 2004). L'action de la PPO nécessite la présence d'oxygène et des dommages cellulaires permettant la libération de la PPO contenue dans les chloroplastes, ce qui est notamment le cas au cours de la phase de préfanage lors de la réalisation d'ensilage (LEE *et al.,* 2013). En revanche, la concentration en oxygène dans le rumen est trop faible pour que la PPO puisse avoir une action sur le fourrage pâturé.

– Impact de la conservation sur la valeur alimentaire des légumineuses

Les différences observées entre graminées et légumineuses sur le fourrage vert se retrouvent dans les fourrages conservés. Toutefois, la conservation des légumineuses est plus délicate que celle des graminées, que ce soit par voie sèche ou par voie humide (*cf.* BAUMONT *et al.,* 2011). La luzerne, du fait d'un nombre élevé de stomates sur ses feuilles, présente une excellente aptitude au séchage et à la déshydratation. Mais des techniques appropriées doivent être mises en œuvre lors du séchage au champ pour minimiser les pertes mécaniques de feuilles (UIJTTEWAAL *et al.,* 2016).

La luzerne est également difficile à ensiler du fait de sa faible teneur en glucides solubles qui ne permet pas une diminution rapide du pH, condition d'une bonne qualité de conservation. Pour pallier cette difficulté, il est nécessaire de la préfaner en amenant la teneur en MS du fourrage à 30-35 % minimum et/ou d'utiliser un conservateur efficace. En revanche, du fait de sa teneur élevée en glucides solubles, une bonne qualité de conservation a été obtenue sans conservateur avec du sainfoin ensilé à 25 % de MS (COPANI *et al.,* 2014) ou enrubanné (THEODORIDOU *et al.,* 2012). De bons résultats de conservation ont également été obtenus avec le trèfle violet ensilé à 25 % de MS.

De plus, les TC du sainfoin et la PPO du trèfle violet limitent la dégradabilité des protéines dans le silo ce qui améliore la valeur azotée des ensilages (COPANI *et al.,* 2014). Les effets positifs du sainfoin et du trèfle violet sur la qualité des ensilages ont également été retrouvés dans des ensilages de mélange avec une graminée, la fléole, ou encore dans un ensilage associant les trois plantes (COPANI *et al.,* 2014).

1.2. Alimentation des vaches laitières

– Au pâturage

L'ingestion et les performances des animaux sont plus élevées avec des associations ray-grass anglais - trèfle blanc que sur du ray-grass anglais pur, aussi bien pour des vaches laitières (DEWHURST *et al.*, 2003 ; RIBEIRO FILHO et *al.*, 2003) que pour des bovins en croissance, ou des ovins (BAUMONT *et al.,* 2014). Chez les vaches laitières, les effets observés sont significatifs à partir d'une proportion de trèfle de 20 % environ dans la prairie et s'accroissent avec cette proportion. En moyenne, l'augmentation d'ingestion atteint 1,5 kg de MS et celle de la production laitière 1 à 3 kg/j (PEYRAUD *et al.,* 2015). De plus, du fait de la stabilité de la valeur alimentaire du trèfle blanc, la diminution des performances animales avec l'âge des repousses est moindre qu'avec des prairies de ray-grass pur, ce qui confère aux prairies d'association plus de souplesse dans leur gestion par le pâturage.

Le programme européen MultiSward a confirmé l'intérêt des légumineuses dans des prairies multi-espèces. Par rapport à une prairie de ray-grass anglais pur, les quantités ingérées sont accrues de 0,8 kg de MS et la production laitière de 1 kg pour une association comprenant du trèfle blanc et du trèfle violet, et respectivement de 2,0 kg de MS et 1,4 kg de lait pour une association comprenant trèfle blanc, trèfle violet et chicorée (ROCA-FERNANDEZ *et al.,* 2016).

– Avec des légumineuses conservées

Les ensilages ou les foins de légumineuses sont de bons fourrages complémentaires de l'ensilage de maïs car ils permettent de rééquilibrer la ration en MAT dégradables et ainsi de limiter l'apport de concentré azoté (PEYRAUD *et al.,* 2015).

Ainsi, avec 36 % de luzerne ensilée ou enrubannée dans la ration en substitution à l'ensilage de maïs, les performances zootechniques sont maintenues au même niveau qu'avec le régime témoin à plus de 30 kg de lait par jour et par vache (ROUILLE *et al.,* 2010, TableaU 1). Le taux protéique est cependant significativement diminué (HASSANAT *et al.*, 2013) comme souvent avec un haut niveau d'herbe dans la ration. Dans un essai récent conduit à la station expérimentale de La Jaillère (FERARD *et al.,* 2016), l'introduction de 15 % et 30 % (sur la base de la MS totale ingérée) de luzerne enrubannée de très bonne valeur nutritive (UFL=0,82 ; PDIN=125 g ; PDIE=78 g) dans une ration de vaches laitières à base de maïs ensilage et de tourteau de colza ont permis de maintenir le niveau de production en lait brut et en taux. La consommation de tourteaux, de 202 kg MS/1 000 l pour le lot témoin ensilage de maïs, a ainsi été diminuée respectivement de 49 % et 65 % pour des rations comportant les niveaux bas et haut de luzerne. Toutefois, au-delà de 50 % de luzerne dans la part de fourrages, la moindre densité énergétique de la luzerne par rapport au maïs fourrage n'est que partiellement compensée par l'apport de céréales supplémentaires et les performances de production sont alors sensiblement affectées et l'efficience d'utilisation de l'azote ingéré diminue (DHIMAN et SATTER, 1997). L'augmentation de la part de luzerne dans la ration nécessite l'ajout de 300 g MS de céréale par kg de MS de luzerne à 16 % de MAT pour combler l'écart énergétique entre la luzerne et l'ensilage de maïs. Par ailleurs, l'introduction de luzerne en brins longs dans les rations à base d'ensilage de maïs et de concentrés, en augmentant la fibrosité de la ration, permet de réduire les risques d'acidose subclinique.

Substituer 40 à 50 % de l'ensilage de maïs d'une ration par du foin de luzerne de très bonne qualité (1,06 UEL/kg MS) ne modifie pas l'ingestion de la ration si le foin est bien haché, mais s'accompagne d'une diminution significative de 10 % de la production de lait et de 1 point du taux protéique (BRUNSHWIG *et al.,* 2005 ; ROUILLE *et al.,* 2010).

TABLEAU 1 – Effets de l'incorporation de luzerne en substitution de l'ensilage de maïs sur l'ingestion et la production laitière des vaches (* = effet significatif à P < 0,05 ; NS = non significatif)**.**

	Forme de la luzerne	Concentré (%)	Luzerne dans ration témoin (%)	Luzerne dans ration testée (%)	Ingestion (kg MS/j)	Production laitière (kg/j)	Taux butyreux (g/L)	Taux protéique (g/L)
FERARD *et al.*, 2016	Enrubannage à 19,9 %MAT	25 %	0 %	15 %	-1,8	0,0 NS	-0,9 NS	+0,3 NS
				30 %	-1,8	-2,0 NS	+0,5 NS	-0,1 NS
ROUILLE *et al.*, 2010	Ensilage à 15,9 %MAT	25 %	0 %	50 %	+0,1 NS	-0,6 NS	+1,0 NS	0,0 NS
	Enrubannage à 15,3 %MAT			50 %	-0,5 NS	-2,4 NS	-0,1 NS	-1,2 *
HASSANAT *et al.*, 2013	Ensilage à 20,4 %MAT	60 %	0 %	50 %	-1,3 *	+1,0 NS	+2,1 *	-0,6 NS
				100 %	-2,9 *	-2,0 *	+6,2 *	-1,8 *
BRITO et BRODERICK, 2006	Ensilage à 23,5 %MAT	50 %	20 %	47 %	-1,7 *	+2,0 *	+0,4 NS	-0,3 NS
				74 %	-2,8 *	+2,5 *	+2,4 *	-0,4 NS
				100 %	-3,1 *	+2,0 *	+4,7 *	-1,0 *
DHIMAN et SATTER, 1997	Ensilage à 19,5 %MAT	50 %	33 %	67 %	+0,3 NS	+1,0 NS	+0,2 NS	-0,4 NS
				100 %	-0,2 NS	-0,3 NS	-1,2 NS	-1,1 NS
SINCLAIR *et al.*, 2015	Ensilage à 18,3 %MAT	55 %	40 %	60 %	-1,1 *	+0,3 NS	+1,4 NS	-0,2 NS

La luzerne peut aussi constituer le seul fourrage distribué dans une ration sèche mélangée. Les ingestions observées sont alors élevées en raison de la forte proportion de concentré (55-60 % dont 33 % de tourteaux) et d'autant plus que le foin est haché fin (NELSON et SATTER, 1992, BRUNSHWIG *et al.,* 2009). Ces régimes permettent des niveaux de production laitière aussi élevés qu'avec une ration à base de maïs fourrage et 30 % de concentré sans présenter de risques majeurs sur la santé des animaux.

1.3. Les légumineuses pour la croissance et l'engraissement

– En substitution du soja dans des rations sèches pour jeunes bovins

Cinq essais ont été réalisés à la station expérimentale de Mauron (Chambre d'Agriculture de Bretagne) avec de la luzerne ou du trèfle violet enrubannés en remplacement du soja dans des rations d'engraissement de jeunes bovins charolais et limousins ; ces rations étaient composées de blé aplati (77 %), de tourteau de soja (14 %), de luzerne déshydratée (6 %), d'AMV (2 %) et de bicarbonate (1 %) (GUILLAUME *et al.,* 2012 et 2014). Bien que ces enrubannés aient été distribués à volonté, les niveaux de consommation des jeunes bovins ont été inférieurs aux prévisions puisque les charolais ont ingéré moins de 3 kg de MS de ces enrubannés (2,9 kg pour la luzerne et 2,7 pour le trèfle violet) et les limousins encore moins avec 2,3 et 2,2 kg de MS consommés. Ainsi, les niveaux d'apports protéiques des rations avec les légumineuses (85 g PDIN/UFV avec la luzerne et 79 g avec le trèfle violet pour les Charolais) sont bien inférieurs à ceux des rations témoins et inférieurs aux recommandations de 100 g de PDI/UFV. Toutefois, les niveaux de croissance des jeunes bovins (en moyenne 1 300 g/j pour les Limousins et 1660 g/j pour les Charolais) ont été comparables entre les deux types de rations. Malgré ces croissances élevées, notamment en Charolais, il n'a été observé aucun problème digestif. L'efficacité alimentaire (mesurée ici en UFV / kg de gain) est globalement identique pour les deux types de rations. De ces essais, il ressort que les légumineuses apportent dans ces rations d'engraissement à base de céréales à la fois les protéines et la fibre nécessaire au bon fonctionnement du rumen.

– En substitution du soja dans des rations à base d'ensilage de maïs

Un essai a également été réalisé à la station expérimentale de Mauron pour tester l'utilisation de la luzerne comme complément protéique en finition de génisses charolaises avec une ration ensilage de maïs. Les génisses âgées de 25 mois (565 kg) ont consommé pendant les 2,5 mois de finition 5,5 kg de MS d'ensilage de maïs et 5,0 kg de MS de luzerne enrubannée de valeur protéique comparable à celle utilisée sur les jeunes bovins. Les apports en UF et PDI ainsi que les performances (1 035 g/j en moyenne) ont été identiques entre le lot luzerne et le lot complémenté avec du soja qui consommait 6,6 kg MS d'ensilage de maïs, 2,1 kg de foin, 1,2 kg de tourteau de soja et 150 g de Maërl. En revanche, les premiers essais conduits avec des jeunes bovins ont montré une baisse de performance sensible pour le lot recevant de la luzerne comparativement au lot complémenté avec du tourteau de soja, et ceci avec un même niveau de concentrés dans les deux lots. Ceci tient essentiellement à la baisse de la densité énergétique de la ration occasionnée par la luzerne couplée à un niveau protéique de la ration trop faible du fait d'une ingestion de luzerne limitée.

– Sainfoin et trèfle violet dans des rations d'engraissement d'agneaux

Dans une ration composée d'ensilage de fléole distribué à volonté et complémenté avec de l'orge (250 g) et de la paille (60 g), la substitution de l'ensilage de fléole par un ensilage composé de fléole et de trèfle violet (50/50) permet d'augmenter significativement l'ingestion (+10 %) et le gain moyen quotidien des animaux (235 *vs* 181 g/j soit + 30 %) (COPANI *et al.,* 2016). L'efficacité alimentaire s'en trouve augmentée numériquement (+13 %) et le poids de carcasse l'est significativement (+ 1,88 kg soit + 10 %). En revanche, dans cette étude, le sainfoin, utilisé en ensilage avec de la fléole, n'a pas amélioré l'ingestion ni les performances de croissance.

2. Effets des légumineuses sur la santé et la reproduction

2.1. Les risques de météorisation avec les légumineuses

La météorisation est un risque souvent évoqué qui peut freiner l'utilisation des légumineuses, notamment au pâturage. La météorisation résulte d'une interaction entre l'animal, les microbes du rumen et des particules fines du fourrage. Elle se caractérise par la formation d'une mousse visqueuse et persistante dans le rumen qui empêche l'évacuation des gaz (WANG *et al*., 2012). Cette accumulation des gaz dans le rumen altère les fonctions digestive et respiratoire de l'animal pouvant entraîner sa mort rapide par suffocation.

La météorisation se produit lorsque les ruminants ingèrent des fourrages pauvres en fibres et riches en protéines et le plus souvent avec des légumineuses au stade végétatif. Les principales espèces de légumineuses météorisantes sont la luzerne, le trèfle violet, le trèfle blanc, le trèfle de Perse, le mélilot et la vesce… Néanmoins, d'autres espèces de légumineuses présentent également de faibles risques de météorisation comme le trèfle d'Alexandrie, le trèfle incarnat, le sainfoin ou le lotier (SIMS *et al.*, 1991 ; MAYLAND *et al.*, 1997 ; WANG *et al.*, 2012). Le facteur ou la combinaison de facteurs responsable du météorisme n'a pas encore été clairement identifié(e), empêchant de disposer d'un ou plusieurs indicateurs fiables du risque de météorisation d'une légumineuse. Les facteurs causaux potentiels seraient une forte concentration en protéines solubles (et notamment en protéines 18s) et/ou en glucides solubles, la présence de saponines, l'absence de TC ou une vitesse de dégradation dans le rumen rapide (COULMAN *et al.*, 2000).

Bien que les légumineuses non météorisantes ne contiennent pas toutes des TC, celles qui en contiennent (sainfoin, lotier) réduisent effectivement le risque de météorisation (MUELLER-HARVEY *et al.*, 2006). L'action antimétéorisante des TC serait liée aux complexes qu'ils forment avec les protéines empêchant leur solubilisation dans le rumen et à une action inhibitrice de l'activité protéolytique de certaines bactéries du rumen. Une concentration faible en TC de l'ordre de 1 à 5 g/kg MS serait suffisante pour réduire le risque de météorisation (MUELLER-HARVEY *et al.*, 2006 ; WANG *et al.*, 2012). Le risque de météorisation est également diminué lorsque le sainfoin est associé à une espèce météorisante comme la luzerne (WANG *et al.,* 2006).

2.2. L'intérêt des légumineuses à tannins pour maîtriser le parasitisme

Les nématodes gastro-intestinaux comme *Haemonchus contortus* ou *Trichostrongylus colubriformis* représentent une contrainte majeure en élevage des ruminants et la maîtrise de ces parasitoses a, jusqu'à présent, reposé sur l'emploi répété d'anthelminthiques de synthèse. Le développement constant de résistances à ces traitements conduit à la recherche de solutions alternatives ou complémentaires, parmi lesquelles l'utilisation des TC contenus, entre autres, dans certaines légumineuses fourragères (HOSTE *et al.,* 2015). Deux hypothèses, non exclusives, sont évoquées pour expliquer l'effet anthelminthique des TC : i) un effet direct dû à la capacité de ces composés à se lier aux protéines et à en modifier les propriétés biochimiques (ainsi, les tannins se fixeraient, d'une part, aux macromolécules de la cuticule des vers ou de la gaine des larves inhibant ainsi leur développement et, d'autre part, aux enzymes secrétées par les vers, bloquant ainsi leur activité (HOSTE *et al.,* 2003)) ; et ii) un effet indirect à travers la stimulation de la réponse immunitaire des animaux (PROVENZA et VILLALBA, 2010), elle-même due à une meilleure absorption intestinale des acides aminés issues des protéines moins dégradées dans le rumen (COBLENZ et GRABBER, 2013). Alors qu'un nombre important d'études *in vitro* et *in vivo* ont montré les effets anthelminthiques de légumineuses riches en TC comme le sainfoin, à la fois chez les petits ruminants et chez les bovins, la variabilité de la réponse animale reste un frein à une large utilisation dans les élevages. Cette variabilité est attribuée à des facteurs liés à l'hôte, à la nature des vers et au stade parasitaire, ainsi qu'à la teneur et à la structure des tannins présents dans les plantes (QUIJADA *et al.,* 2015). Une filière innovante de commercialisation de granulés de sainfoin déshydraté émerge, mettant en avant en plus des effets anthelminthiques, les services nutritionnels apportés par la richesse en sucres du sainfoin (L'ALIMENTATION ANIMALE, 2011).

2.3. Phyto-oestrogènes et légumineuses

Les phyto-œstrogènes sont des composés secondaires des plantes dont la composition chimique et l'activité physiologique sont similaires aux œstrogènes endogènes. Ils interfèrent avec les récepteurs aux œstrogènes et peuvent inhiber ou induire des réponses œstrogéniques chez l'animal ou l'homme qui les consomment. Chez les vaches et les brebis, les phyto-œstrogènes diminueraient les performances de reproduction car ils seraient à l'origine de modifications des organes génitaux, de troubles ovariens et d'avortements (ADAMS, 1995 ; PONTER *et al*., 2013). Les principaux phyto-œstrogènes dans l'alimentation des ruminants sont les isoflavones présentes en très fortes concentrations dans le trèfle violet et les coumestranes présentes dans la luzerne et le trèfle blanc. Toutefois, l'effet potentiellement négatif des phyto-œstrogènes présents dans les légumineuses sur la fertilité des vaches reste controversé (synthèse de PEYRAUD *et al.,* 2015).

Les phyto-œstrogènes sont en partie métabolisés dans le rumen, puis excrétés dans l'urine ou les fèces, mais ils peuvent aussi être sécrétés dans le lait et notamment sous forme d'équol qui est un produit du métabolisme des isoflavones (NJASTAD *et al*., 2014). L'équol présenterait certains intérêts pour la santé humaine (PATISAUL et JEFFERSON, 2010) : diminution des symptômes liés à la ménopause, prévention de l'ostéoporose… Le lait constituerait donc une source intéressante d'équol pour la femme car sa concentration peut y être modulée par l'alimentation : le lait de vaches consommant du trèfle violet en vert ou en ensilage contient 10 à 15 fois plus d'équol que le lait de vaches consommant des ensilages d'herbe sans trèfle violet ou une prairie permanente (HÖJER *et al.*, 2012 ; ADLER *et al*., 2014).

3. Effets des légumineuses sur la qualité des produits

Comparés aux régimes à base de maïs ou très riches en concentrés, les régimes à base de graminées et de légumineuses ont des effets positifs sur la qualité du lait et de la viande, notamment sur leur composition en acides gras (AG) en augmentant les teneurs en acides gras polyinsaturés (AGPI), en particulier en omega-3 (ou C18:3 n-3), et en diminuant celle en acides gras saturés (AGS) (FERLAY *et al.,* 2013 ; LEBRET *et al.,* 2015). Par rapport aux graminées, les légumineuses peuvent avoir des effets spécifiques sur la qualité des produits animaux, du fait des particularités de leur profil en AG et de leur transit rapide qui limite la saturation des AG dans le rumen. Par ailleurs, les TC du sainfoin et la PPO du trèfle violet pourraient également limiter la biohydrogénation des AG dans le rumen et induire des effets positifs sur la composition des AG du lait et de la viande.

3.1. Composition des légumineuses en acides gras

Les fourrages verts contiennent de 10 à 30 g/kg MS d'acides gras (AG) totaux composés de 35 à 70 % d'acide linolénique (C18:3). De nombreux facteurs influencent la teneur et la composition en AG des fourrages (DEWHURST *et al.*, 2006 ; KHAN *et al.*, 2012 ; GLASSER *et al.*, 2013) : la famille botanique, l'espèce végétale, le stade de végétation, le mode de conservation et la fertilisation azotée. Parmi ces facteurs, les deux principaux sont le stade de végétation et le fanage. Le vieillissement de la plante entraîne une diminution des teneurs en AG totaux (jusqu'à -9 g/kg MS) et en C18:3 (jusqu'à -14 %) et une augmentation des teneurs en acides palmitique (C16:0), stéarique (C18:0), oléique (C18:1) et linoléique (C18:2). L'ensilage modifie peu la teneur et la composition en AG des fourrages verts, alors que le fanage diminue fortement la teneur en C18:3 sous l'effet combiné de la perte de feuilles et de l'oxydation des AG polyinsaturés (synthèse de BAUMONT *et al.,* 2011). Par rapport aux graminées, les légumineuses auraient une concentration en C18:3 moins élevée et des concentrations en C16:0, C18:0, C18:1 et C18:2 plus élevées (BOUFAÏED *et al.*, 2003). Les nouvelles tables INRA, à paraître en 2016, proposeront des valeurs de teneur et composition en AG pour les principaux types de légumineuses, ainsi que des équations permettant d'estimer les teneurs et compositions à partir de leur teneur en MAT et des caractéristiques du fourrage (MAXIN *et al.*, 2013).

3.2. Effets sur la composition en acides gras du lait

Le profil en acides gras du lait peut être modulé avec une supplémentation en luzerne déshydratée ou par le pâturage de légumineuses pour obtenir une composition plus favorable pour la santé humaine avec une diminution de la part des AGS et une augmentation de la part des AGPI (PEYRAUD et DELABY, 2002 ; BALLARD *et al.,* 2010 ; FRANCKSON *et al.,* 2012).

Les effets semblent plus variables avec de la luzerne ensilée ou enrubannée, ce qui pourrait être relié au fanage plus ou moins poussé du fourrage avant d'être ensilé. Ainsi, l'introduction de 20 à 40 % de luzerne enrubannée dans une ration à base de maïs ensilage n'a pas induit de modification significative de la teneur en AGS ni de la part des AGPI présents dans le lait (FERARD *et al.,* 2016). Les mêmes observations ont déjà été rapportées avec des augmentations modérées à fortes du niveau d'introduction de luzerne dans une ration à base de maïs ensilage comportant déjà 10 % de luzerne (RUPPERT *et al.,* 2003 ; SINCLAIR *et al.,* 2015) avec cependant une augmentation significative de la teneur en C18:3. Une modification plus importante de la ration avec le remplacement total du maïs ensilage par de la luzerne ensilée diminue significativement la teneur en AGS et augmente celle en C18:3 (BENCHAAR *et al.,* 2007).

3.3. Intérêt et limites des légumineuses pour la qualité de la viande

– Etat d'engraissement et couleur des carcasses et des viandes

Avec les rations présentées au § 1.3, les jeunes bovins complémentés avec des légumineuses ont présenté un état d'engraissement des carcasses et des viandes (gras intermusculaires comme intramusculaires) comparable à celui des animaux complémentés avec du soja. Les carcasses des jeunes bovins complémentés avec les légumineuses ont présenté des gras légèrement plus colorés. Par ailleurs, contrairement aux idées véhiculées au sein de la filière, les viandes des animaux ayant reçu de la luzerne ou du trèfle violet ne sont pas plus rouges.

En production ovine, dans une comparaison entre des agneaux engraissés au pâturage dans un système conventionnel ou dans un système AB avec des prairies riches en trèfle blanc, l'engraissement et la couleur des carcasses n'ont pas présenté de différences à l'exception de la luminosité du gras sous-cutané légèrement plus élevée en AB (PRACHE *et al.,* 2011).

– Un meilleur profil en acides gras de la viande, surtout avec le trèfle violet

Les profils en AG de la viande des jeunes bovins de race Limousine dans les essais menés à Mauron confirment l'intérêt de la luzerne et plus encore du trèfle violet. Comparativement aux viandes des animaux complémentées avec du tourteau de soja, les niveaux d'omega-3 des viandes des animaux complémentés avec les légumineuses sont plus élevés de + 16 % avec la luzerne et de

+ 83 % avec le trèfle violet. Les teneurs en CLA (acide gras bénéfique pour la santé) sont également améliorées avec les légumineuses.

Récemment, CAMPIDONICO *et al.* (2016) ont montré avec des agneaux recevant des ensilages que les effets du trèfle violet et du sainfoin sur la biohydrogénation des AG dans le rumen et sur la composition en AG du tissu adipeux musculaire sont similaires. De plus, lorsqu'on associe les deux plantes, les effets du trèfle violet et du sainfoin sont additifs, en particulier sur la teneur en omega-3 du tissu adipeux.

– Qualité sensorielle

Dans les essais menés à Mauron, les viandes de jeunes bovins complémentés avec de la luzerne ont été évaluées par un jury d'experts aussi tendres, aussi juteuses et dégageant autant de flaveur en bouche que celle des animaux complémentés avec du tourteau de soja.

En production ovine, l'engraissement à l'herbe, notamment lorsque les prairies sont riches en légumineuses, conduit à des viandes dont la flaveur est plus prononcée du fait de la concentration dans le tissu adipeux de composés tels que le scatole et l'indole (PRACHE et BAUCHART, 2015). Ces composés se forment dans le rumen à partir de la dégradation du tryptophane, leur production étant accrue lorsque la ration est riche en protéines rapidement dégradables comme avec la luzerne (DEVINCEZI *et al.*, 2014). L'utilisation de légumineuses bioactives comme le sainfoin ou le trèfle violet pourrait permettre de limiter la formation de ces composés.

TABLEAU 2 – Synthèse des intérêts et des limites des principales légumineuses fourragères et prairiales pour l'alimentation des ruminants (les ++, +, = et – indiquent respectivement un effet très positif, positif, neutre ou négatif des légumineuses par rapport aux graminées ou aux céréales fourragères ; NR = non renseigné).

		Luzerne	Trèfle Violet	Sainfoin	Trèfle Blanc
Valeur alimentaire	Energie	= ou -	= ou -	= ou -	+
	Ingestion	+	+	+	++
	Valeur azotée	+ (Excès PDIN)	+ (Excès PDIN)	+	+ (Excès PDIN)
Qualité de Conservation	Foin	= ou -	= ou -	= ou -	/
	Ensilage	= ou -	= ou +	= ou +	/
Performances animales	Production de lait	=	=	= ou -	++
	Croissance / engraissement	=	=	= ou -	++
Santé	Risque de météorisation	oui	oui	non	oui
	Parasitisme	=	=	+	=
	Reproduction	?	?	NR	?
Qualité des produits	Profil en AG	= ou +	+ ou ++	= ou +	= ou +
	Qualité des carcasses	=	=	NR	NR
	Qualité sensorielle de la viande	= ou - (agneaux)	=	NR	= ou - (agneaux)
Rejets	Azote	-	= ou -	= ou +	-
	Méthane	= ou +	= ou +	= ou +	= ou +

4. Effets des légumineuses sur les rejets animaux

4.1. Les tannins pour limiter l'impact environnemental négatif des rejets azotés

Le fort déséquilibre entre PDIN et PDIE des légumineuses entraîne une utilisation peu efficace de l'azote et des pertes azotées urinaires plus importantes qu'avec les graminées, comme cela a été montré par PEYRAUD (1993) dans une série de comparaisons entre ray-grass anglais et trèfle blanc.

L'utilisation de plantes contenant des TC telles que le sainfoin modifie l'excrétion d'azote en réduisant la part d'azote urinaire et en augmentant celle d'azote fécal dans l'azote rejeté (MIN *et al.,* 2003 ; AUFRERE *et al.,* 2008 ; THEODORIDOU *et al.,* 2010). L'azote urinaire, converti rapidement en émissions gazeuses (NH_3 et NO) et pouvant directement contaminer l'eau du sol, étant plus polluant que l'azote fécal, les plantes à TC sont donc potentiellement de nature à réduire les risques de lixiviation et d'émission d'ammoniac au pâturage.

4.2. Emissions de méthane

L'analyse des données de la littérature montre que l'effet des légumineuses sur les émissions de méthane entérique par unité de matière sèche ingérée est variable. Cela peut en grande partie s'expliquer par les différences de composition chimique du fourrage, elles-mêmes dues à la nature des espèces, leur stade de maturité et leur mode de conservation, ainsi que par le type d'animal sur lequel les mesures sont réalisées. A titre d'exemple, aucune différence significative d'émissions n'a été observée en comparant des fourrages verts de graminées et de diverses espèces de trèfle (VAN DORLAND *et al.,* 2007 chez les vaches laitières ; HAMMOND *et al.,* 2011 chez les ovins ; et la méta-analyse réalisée par ARCHIMEDE *et al.,* 2011). *A contrario*, de plus faibles émissions de méthane ont été enregistrées avec de l'ensilage de trèfle violet chez les ovins (NIDERKORN *et al.,* 2015) ou avec un mélange fourrager contenant 78 % de luzerne chez des vaches allaitantes (MC CAUGHEY *et al.,* 1999) ou encore avec 40 % de trèfle blanc dans la ration de vaches laitières (EUGENE *et al.,* 2016), en comparaison de graminées pures. Ces effets s'expliquaient notamment par des teneurs en parois végétales plus faibles, des niveaux d'ingestion et des vitesses de transit plus élevés avec les légumineuses qu'avec les graminées.

L'effet antiméthanogénique des TC du sainfoin ou du lotier corniculé est en revanche de mieux en mieux décrit. Une méta-analyse a montré que cet effet est généralement observé au-delà d'une concentration de tannins équivalente à 2 % de la matière sèche (JAYANEGARA *et al.,* 2012). Il semble qu'en plus d'une légère baisse de la digestibilité des fibres, les TC puissent modifier le profil en AG volatils et réduire le nombre de protozoaires dans le rumen, permettant une réduction de l'hydrogène disponible qui sert de substrat aux archées méthanogènes (TAVENDALE *et al.,* 2005 ; BHATTA *et al.,* 2009). Par ailleurs, de récents travaux suggèrent que le degré de polymérisation des TC joue un rôle important dans ces effets (HATEW *et al.,* 2015).

Conclusion

Les intérêts nutritionnels et non nutritionnels (santé et qualité des produits principalement) des légumineuses fourragères et prairiales compensent largement les quelques limites que nous avons identifiées dans cette synthèse (Tableau 2). Bien utilisées dans les rations pour corriger leur déséquilibre PDIN/PDIE et dans certains cas leur faible densité énergétique, elles permettent d'obtenir des performances animales équivalentes à celles obtenues avec des rations concentrées ou basées sur l'ensilage de maïs et les graminées. Elles permettent en outre de réduire l'utilisation de concentrés azotés, souvent importés, et d'améliorer l'autonomie alimentaire qui, avec 30 % de luzerne dans des rations pour des vaches laitières hautes productrices, peut atteindre 90 % sur la base de la MS consommée et 100 % dans des rations à base de céréales pour des jeunes bovins.

Les bénéfices non nutritionnels des légumineuses sont nombreux. Ils sont bien établis pour les légumineuses les plus étudiées, la luzerne et le trèfle blanc. Ils le sont moins pour les légumineuses bioactives (trèfle violet, sainfoin…), la biochimie et les modes d'actions des multiples composés secondaires (tannins, PPO, saponines…) n'étant pas encore complètement élucidés. Ces légumineuses sont d'autant plus intéressantes que certains effets semblent être associatifs (stimulation de l'ingestion, action des TC de la légumineuse sur les protéines des autres constituants de la ration, action sur biohydrogénation des AG dans le rumen…). Toutefois les performances agronomiques (rendement, compétitivité, persistance) des légumineuses à TC comme le sainfoin sont encore à améliorer, ce qui fait l'objet de recherches dans le programme européen LegumePlus notamment.

Seule une infime partie des légumineuses potentiellement utilisables pour l'alimentation des ruminants a fait l'objet de travaux approfondis. L'utilisation de nouvelles espèces de légumineuses, en interculture par exemple ou issues de régions plus chaudes en relation avec le changement climatique (trèfle d'Alexandrie, trèfle incarnat…), nécessitera d'évaluer l'intérêt de ces espèces pour l'alimentation des ruminants. Comme pour les légumineuses classiques, leur étude nécessitera des approches pluridisciplinaires combinant agronomie, sciences animales et sciences économiques et sociales pour en préciser les intérêts et les conditions d'utilisation dans les systèmes d'élevage.

Références bibliographiques

ADAMS N.R. (1995) : "Detection of the effects of phytoestrogens on sheep and cattle", *Journal of Animal Science*, 73, 1509-1515.

ADLER S.A., PURUP S., HANSEN-MØLLER J., THUEN E., GUSTAVSSON A.M., STEINSHAMN H. (2014) : "Phyto-oestrogens and their metabolites in milk produced on two pastures with different botanical compositions", *Livestock Science*, 163, 62-68.

ARCHIMÈDE H., EUGÈNE M., MARIE MAGDELEINE C., BOVAL M., MARTIN C., MORGAVI D.P., LECOMTE P., DOREAU M. (2011). Comparison of methane production between temperate and tropical forages: A quantitative review. *Anim. Feed Sci. and Technol.*, 166-167, 59-64.

AUFRERE J., DUDILIEU M., PONCET C., (2008). *In vivo* and *in situ* measurements of the digestive characteristics of sainfoin in comparison with lucerne fed to sheep as fresh forages at two growth stages and as hay. *Animal*, 2, 1331-1339.

AUFRÈRE J., DUDILIEU M., PONCET C., BAUMONT R., (2013). Mixing sainfoin and lucerne to improve the feed value of legumes fed to sheep by the effect of condensed tannins. Animal, 7, 82-92.

AUFRERE J., THEODORIDOU K., BAUMONT R., (2012). Valeur alimentaire pour les ruminants des legumineuses contenant des tannins condensés en milieu tempérés. INRA Productions Animales, 25, 29-44

AUFRÈRE J.,THEODORIDOU K., BAUMONT R., (2013). Valeur agronomique et alimentaire du sainfoin. *Fourrages*, 213, 63-76

BALLARD, V., COUVREUR, S., AND HURTAUD, C. (2010). Effet de l'apport de luzerne déshydratée sur le profil en acides gras du lait de vache. *Renc. Rech. Ruminants* 17, 397.

BAUMONT R., DULPHY J.P., SAUVANT D., MESCHY F., AUFRERE J., PEYRAUD J.L., (2007). Chapitre 8. Valeur nutritive des fourrages et des matières premières : tables et prévision. In Alimentation des bovins, ovins et caprins, Tables INRA 2007, Editions Quae, pp. 149-179.

BAUMONT R., LE MORVAN A., DULPHY J.P., SAUVANT D. (2002). Development of a simple mechanistic rumen model in order to improve prediction of forage fill effect and voluntary intake. *Grassland Science in Europe*, 7, 238-239.

BAUMONT R., NIDERKORN V., ARRIGO Y., (2011). Transformation des plantes au cours de leur conservation et conséquences sur leur valeur pour les ruminants, *Fourrages*, 205, 35-46

BAUMONT, R., LEWIS, E., DELABY, L., PRACHE, S., HORAN, B. (2014). Sustainable intensification of grass-based ruminant production. *Grassland Science in Europe*, 19, 521-532.

BENCHAAR C., PETIT H. V., BERTHIAUME R., OUELLET D. R., CHIQUETTE J., CHOUINARD P. Y. (2007). Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage, *J. Dairy Sci*. 90:886–897

BHATTA, R., UYENO, Y., TAJIMA, K., TAKENAKA, A., YABUMOTO, Y., NONAKA, I., ENISHI, O., KURIHARA M. (2009). Difference in the nature of tannins on in vitro ruminal methane and volatile fatty acid production and on methanogenic archaea and protozoal populations. *J. Dairy Sci.* 92:5512-5522.

BOUFAÏED H., CHOUINARD P.Y., TREMBLAY G.F., PETIT H.V., MICHAUD R., BÉLANGER G. (2003) : Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, 501-511.

BRITO A.F., BRODERICK G.A. (2006). Effect of varying dietary ratios of alfalfa silage to corn silage on production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*,89, 3924-3938.

BRUNSCHWIG, P., LAMY, J.-M., AND DAVID, D. (2005). Ensilage ou foin de luzerne en ration d'ensilage de maïs pour vaches laitières en milieu de lactation. *Renc. Rech. Ruminants* 12, 243.

BRUNSCHWIG, P., LAMY, J.-M., AND ROUILLÉ, B. (2009). Ration sèche fermière et foin de luzerne pour vaches laitières en milieu de lactation. *Renc. Rech. Ruminants*, 16, 82.

CAMPIDONICO, L., TORAL, P.G., PRIOLO, A., LUCIANO, G., VALENTI, B., HERVAS, G., FRUTOS, P., COPANI, G., GINANE, C., NIDERKORN, V. (2016). Fatty acid composition of ruminal digesta and longissimus muscle from lambs fed silage mixtures including red clover, sainfoin and timothy. *Journal of Animal Science*, in press.

COBLENTZ, W. K., GRABBER, J. H. (2013). In situ protein degradation of alfalfa and birdsfoot trefoil hays and silages as influenced by condensed tannin concentration. *J. Dairy Sci.*, 96, 3120-3137.

COPANI G., GINANE C., LE MORVAN A. AND NIDERKORN V. (2014). Bioactive forage legumes as a strategy to improve silage quality and minimise nitrogenous losses. *Animal Production Science*, 54, 1826–1829.

COPANI, G., NIDERKORN, V., ANGLARD F., QUEREUIL, A., GINANE, C. (2016). Silages containing bioactive forage legumes: a promising potein-rich food source for growing lambs. *Grass and Forage Science*, in press.

COULMAN B.E., GOPLEN B.P., MAJAK W., MCALLISTER T.A., CHENG K.J., BERG B. P., HALL J., MCCARTNEY D., ACHARYA S.N. (2000). A review of the development of a bloat-reduced alfalfa cultivar. *Canadian Journal of Plant Science*, 80, 487-491.

DEVINCENZI T., PRUNIER A., METEAU K., NABINGER C., PRACHE S. (2014). Influence of fresh alfalfa supplementation on fat skatole and indole concentration and chop odour and flavour in lambs grazing a cocksfoot pasture. *Meat Science*, 98, 607–614.

DEWHURST R.J., FISHER W.J., TWEED J.K.S. AND WILKINS R.J. (2003). Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *Journal of Dairy Science*, 86, 2598–2611.

DEWHURST R.J., SHINGFIELD K.J., LEE M.R.F., SCOLLAN N.D. (2006). Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science Technology*, 131, 168-206.

DHIMAN T.R., ET SATTER L.D. (1997). Yield response of dairy cows fed different proportions of alfalfa silage and corn silage. *J. Dairy Sci.* 80, 2069–2082.

EUGÈNE M., ROCA-FERNANDEZ A.I., EDOUARD N., ROCHETTE Y., DELAGARDE R. (2016). Effect of supplementation with clover and chicory on fresh ryegrass-based diet quality and methane emission in dairy cows. In: 6th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference (GGAA2016), 14 to 18 February 2016, Melbourne, Australia.

FÉRARD A., ROUILLÉ B., PREZELIN M., 2016. Enrubannage et ensilage de luzerne : quel niveau d'introduction pour quel degré d'autonomie alimentaire ? Biennales des fermes expérimentales professionnelles laitières, 2/02/2015 à Rennes.

FERLAY A., GRAULET B., CHILLIARD Y., (2013). Maîtrise par l'alimentation des teneurs en acides gras et en composés vitaminiques du lait de vache. In : Numéro spécial, La vache et le lait. Faverdin P., Leroux C., Baumont R.. (Eds.) *INRA Prod. Anim*., 26, 177-192.

FRANCKSON, D., DECRUYENAERE, V., DEHARENG, F., NGUYEN, H., STILMANT, D., FROIDMONT, E. (2012). Incidence de la présence de trèfle ou de luzerne dans la prairie sur la composition du lait. *Renc. Rech. Ruminants* 19, 420.

GLASSER F., DOREAU M., MAXIN G., BAUMONT R. (2013). Fat and fatty acid content and composition of forages: a meta-analysis. *Animal Feed Science Technology*, 185, 19-34

GUILLAUME A., LE PICHON D., (2012). Luzerne enrubannée en complément du blé pour l'engraissement des jeunes bovins. *Rencontres Recherche Ruminants*, 19, 191.

GUILLAUME A., LE PICHON D., BASTIEN D., (2014). Luzerne enrubannée en complément du blé pour l'engraissement des jeunes bovins. *Rencontres Recherche Ruminants*, 21, 116.

HAMMOND, K. J., HOSKIN, S.O., BURKE, J. L., WAGHORN, G.C., KOOLARD, J. P., MUETZEL, S. (2011). Effects of feeding fresh white clover (*Trifolium repens*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on enteric methane emissions from sheep. *Anim. Feed Sci. and Technol.*, 166, 398-404.

HASSANAT F., GERVAIS R. JULIEN C., MASSÉ D. I., LETTAT A., CHOUINARD P. Y., PETIT H.V., AND BENCHAAR C. (2013). Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96, 4553–4567.

HATEW, B., STRINGANO, E., MUELLER-HARVEY, I., HENDRIKS, W. H., CARBONERO, C. H., SMITH, L. M. J., PELLIKAAN,W.F. (2016). Impact of variation in structure of condensed tannins from sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on in vitroruminal methane production and fermentation characteristics. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, in press.

HÖJER A., ADLER S.A., PURUP S., HANSEN-MOLLER J., MARTINSSON K., STEINSHAMN H., GUSTAVSSON A.M. (2012). Effects of feeding dairy cows different legume-grass silages on milk phytoestrogen concentration. *Journal of Dairy Science*, 95, 4526-4540.

HOSTE, H. ; JACKSON, F. ; ATHANASIADOU, S. ; THAMSBORG, S. M. ; HOSKIN, S. O., 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology*, 22 (6): 253-261

HOSTE, H., TORRES-ACOSTA, J. F. J., SANDOVAL-CASTRO, C. A., MUELLER-HARVEY, I., SOTIRAKI, S., LOUVANDINI, H., THAMSBORG S.M TERRILL, T. H. (2015). Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Vet. parasitol.*, 212(1), 5-17.

HUYGHE C., BAUMONT R., ISSELSTEIN J., 2008. Plant diversity in grasslands and feed quality. *Grassland Science in Europe*, 14, 375-386.

JAYANEGARA A., LEIBER F., KREUZER M. (2012). Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* (Berl.) 96:365–375.

KHAN N.A., CONE J.W., FIEVEZ V., HENDRIKS W.H. (2012). Causes of variation in fatty acid content and composition in grass and maize silages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 174, 36-45.

L'ALIMENTATION ANIMALE (2011). La renaissance du sainfoin : du fourrage au granulé. (http://www.revue-alimentation-animale.fr/nutrition-formulation/la-renaissance-du-sainfoin-du-fourrage-au-granule-deshydrate/)

LEBRET B., PRACHE S., BERRI C., LEFEVRE F., BAUCHART D., PICARD B., CORRAZE G., MEDALE F., FAURE J., ALAMIDURANTE H., (2015). Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 28, 151-168.

LEE M.R.F., WINTERS A.L., SCOLLAN N.D., DEWHURST R.J., THEODOROU M.K. AND MINCHIN F.R. (2004) Plant-mediated lipolysis and proteolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1639-1645.

LEE, M. R. F., J. K. S. TWEED, AND M. L. SULLIVAN. (2013). Oxidation of ortho-diphenols in red clover with and without polyphenol oxidase (PPO) activity and their role in PPO activation and inactivation. *Grass and Forage Science,* 68, 83-92.

LÜSCHER A., MUELLER-HARVEY I., SOUSSANA J. F., REES R. M. AND PEYRAUD J. L. (2014). Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69, 206-228.

MALEPLATE, T., TRISTAN, D., AND SCHMIDELY, P. (2011). Effet de différents apports de luzerne déshydratée sur les performances laitières et le profil en AG du lait chez la vache. *Renc. Rech. Ruminants* 18, 143.

MAXIN G., GLASSER F., DOREAU M., BAUMONT R. (2013). Prévision de la teneur en matières grasses et de la composition en acides gras des fourrages. *Rencontres Recherches Ruminants*, 20, 49-52.

MAYLAND H.F., CHEEKE P.R., MAJAK W., GOFF J.P., (2007) : *Forage-induced animal disorders*. In: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moore, K.J., Collins, M. (Eds.), Forages 6th ed., vol. II. Blackwell Publ., Ames, IA, USA, pp. 687–691.

MCCAUGHEY W.P., WITTENBERG K., CORRIGAN D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 79, 221-226.

MICHAUD, A., PLANTUREUX, S., POTTIER, E., BAUMONT, R. (2015). Links between functional composition, biomass production and forage quality in permanent grasslands over a broad gradient of conditions. *Journal of Agricultural Science, 153* (5), 891-906.

MIN, B. R., BARRY, T. N., ATTWOOD, G. T., MCNABB, W. C. (2003). The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol*., 106, 3-19.

MUELLER-HARVEY I. (2006). Review Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2010-2037.

NELSON W.F., ET SATTER L.D. (1992). Impact of alfalfa maturity and preservation method on milk production by cows in early lactation. *J. Dairy Sci*. 75, 1562–1570.

NIDERKORN V., JULIEN S., MARTIN C., ROCHETTE Y., BAUMONT R. 2015. Associative effects between orchardgrass and red clover silages on voluntary intake and digestion in sheep: evidence of a synergy on digestible dry matter intake. *J. Anim Sci*., 93, 4967-4976.

NJÅSTAD K.M., ADLER S.A., HANSEN-MØLLER J., THUEN E., GUSTAVSSON A.M., STEINSHAMN H. (2014). Gastrointestinal metabolism of phytoestrogens in lactating dairy cows fed silages with different botanical composition. *Journal of Dairy Science*, 97, 7735-7750.

PATISAUL H.B., JEFFERSON W. (2010). The pros and cons of phytoestrogens. *Front Neuroendocrinol*, 31, 400-419.

PATRA K., SAXENA J., (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminal nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 91, 24-37.

PEYRAUD J.-L. (1993) Comparaison de la digestion du trèfle blanc et des graminées prairiales chez la vache laitière. *Fourrages*, 135, 465-473.

PEYRAUD J.-L. ET DELABY L. (2002). Introduction of dehydrated lucerne in long form or straw into diets of high producing dairy cows. *Grassland Science in Europe,* 7, 224-225.

PEYRAUD J.-L., DOURMAD J.-Y., LESSIRE M., MÉDALE F., PEYRONNET C. (2015). Conséquences zootechniques de l'introduction des légumineuses françaises dans les systèmes de production animale. In : Les légumineuses pour des systèmes alimentaires et agricoles durables. Schneider A. et Huyghe C. (Eds.), Quae Editions, pp. 225-262.

PONTER A., REMY D., GRIMARD B. (2013). Prévention nutritionnelle des troubles de reproduction chez la vache laitière. *Le Point Vétérinaire,* 69, 32-48.

PRACHE S., BAUCHART D., (2015). La viande et la carcasse des agneaux : les principales qualités recherchées. In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 28, 105-110.

PRACHE S., GATELLIER P., THOMAS A., PICARD B., BAUCHART D. (2011). Comparison of meat and carcass quality in organically reared and conventionally reared pasture-fed lambs. *Animal*, 5, 2001–2009.

PROVENZA F.D. AND VILLALBA J.J. (2010). The role of natural plant products in modulating the immune system: an adaptable approach for combating disease in grazing animals. *Small Ruminant Research*, 89, 131–139.

QUIJADA, J., FRYGANAS, C., ROPIAK, H. M., RAMSAY, A., MUELLER-HARVEY, I., HOSTE, H. (2015). Anthelmintic activities against Haemonchus contortus or Trichostrongylus colubriformis from small ruminants are influenced by structural features of condensed tannins. *J. Agric. Food chem.*, 63, 6346-6354.

RIBEIRO FILHO H.M.N., DELAGARDE R. AND PEYRAUD J.L. (2003). Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass swards: herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of sward regrowth. *Animal Science*, 77, 499–510.

ROCA-FERNÁNDEZ A.I., PEYRAUD J.L., DELABY L., DELAGARDE R. (2016). Pasture intake and milk production of dairy cows rotationally grazing on multispecies swards. *Animal*, in press

ROUILLÉ B., LAMY J.-M., ET BRUNSCHWIG P. (2010). Trois formes de consommation de la luzerne pour les vaches laitières. *Renc. Rech. Ruminants* 17, 329.

RUPPERT L. D., DRACKLEY J. K., BREMMER D. R., CLARK J. H., 2003. Effects of Tallow in Diets Based on Corn Silage or Alfalfa Silage on Digestion and Nutrient Use by Lactating Dairy Cows, *J. Dairy Sci.* 86, 593–609.

SCHNEIDER A., HUYGHE C., MALEPATE T., LABALETTE F., PEYRONNET C., CARROUÉE B. (2015). Rôle des léguineuses dans l'agriculture française. In : Les légumineuses pour des systèmes alimentaires et agricoles durables. Schneider A. et Huyghe C. (Eds.), Quae Editions, pp. 11-78.

SIMS J.R., SOLUM D.J., WESTCOTT M.P., JACKSON M.P., KUSHNAK G.D., WICHMAN D.M., WELTY L.E., BERG R.K., ECKHOFF J.L., STALLKNECHT G.F., GILBERTSON K.M. (1991). Yield and bloat hazard of berseem clover and other forage legumes in Montana. Pages 4-10 in Montana AgResearch. Montana State Univ. Agric. Exp. Station, Bozeman.

SINCLAIR L. A., EDWARDS R., ERRINGTON K. A., HOLDCROFT A. M., M. WRIGHT, 2015. Replacement of grass and maize silages with lucerne silage: effects on performance, milk fatty acid profile and digestibility in Holstein-Friesian dairy cows, *Animal*, 9, 1970–1978.

TAVENDALE M. H., MEAGHER L. P., PACHECO D., WALKER N., ATTWOOD G.T., SIVAKUMARAN S. (2005). Methane production from in vitro rumen incubations with Lotus pedunculatus and Medicago sativa, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 123, 403-419.

THEODORIDOU K., AUFRÈRE J., ANDUEZA D., POURRAT J., LE MORVAN A., STRINGANO E., MUELLER-HARVEY I., BAUMONT R. (2010). Effects of condensed tannins in fresh sainfoin (Onobrychis viciifolia) on in vivo and in situ digestion in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 160, 23-38.

THEODORIDOU K., AUFRÈRE J., ANDUEZA D., LE MORVAN A., PICARD F., STRINGANO E., POURRAT J., MUELLER-HARVEY I., BAUMONT R., (2011). Effect of plant development during first and second growth cycle on chemical composition, condensed tannins and nutritive value of three sainfoin (Onobrychis viciifolia) varieties and lucerne. *Grass and Forage Science*, 66, 402–414.

THEODORIDOU, K., AUFRÈRE J., ANDUEZA D., POURRAT J., PICARD F., LE MORVAN A., BAUMONT R. (2012). Effect of condensed tannins in wrapped silage bales of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on *in vivo* and *in situ* digestion in sheep. *Animal*, 6, 245-253.

UIJTTEWAAL A. ET AL (2016). Quoi de neuf en matière de récolte et de conservation des légumineuses. In : Les légumineuses fourragères et prairiales. Actes des journées AFPF 2016. pp. XX-YY.

VAN DORLAND H. A., WETTSTEIN H. R., LEUENBERGER H., KREUZER M. (2007). Effect of supplementation of fresh and ensiled clovers to ryegrass on nitrogen loss and methane emissions in dairy cows. *Livestock Sci.*, 111, 57–69.

WAGHORN G.C., (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production. Progress and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 147, 116-139.

WANG Y., MAJAK W., MCALLISTER T.A. (2012). Frothy bloat in ruminants: Cause, occurrence, and mitigation strategies. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 103-114.

WANG, Y., BERG B.P., BARBIERI L.R., VEIRA D.M., MCALLISTER T.A. (2006). Comparison of alfalfa and mixed alfalfa-sainfoin pastures for grazing cattle: Effects on incidence of bloat, ruminal fermentation, and feed intake. *Canadian Journal of Animal Science*, 86, 383-392.