

Les fourrages conservés riches en protéines : une ressource d'intérêt pour améliorer l'autonomie des élevages de bovins lait et viande

B. Deroche¹, H. Chauveau²

1 : Institut de l'Elevage, 42 Rue Georges Morel, 49070, Beaucoz. bertrand.deroche@idele.fr

2 : Arvalis, Station expérimentale de La Jaillière, 44370, Loireauxence. h.chauveau@arvalis.fr

L'herbe constitue le principal aliment des rations pour les bovins en France. Son équilibre en énergie et protéines peut répondre aux enjeux d'autonomie alimentaire des élevages de ruminants.

Résumé

Au sein des rations distribuées à l'auge, plusieurs leviers sont disponibles pour réduire la dépendance des élevages aux correcteurs azotés. L'incorporation d'une légumineuse pure ou associée à une graminée en remplacement de tout ou partie d'un fourrage à base de graminée pure, de maïs ensilage ou leur introduction dans une ration sèche constituent une solution prépondérante. Qu'elles soient cultivées seules ou en association, les légumineuses fourragères présentent le double intérêt de produire une ressource riche en protéines avec pas ou peu ou pas d'engrais azotés, grâce à la fixation de l'azote atmosphérique. La récolte précoce des prairies et des dérobées maximise la valeur alimentaire du fourrage, mais nécessite d'être couplée à un mode de conservation peu dépendant des conditions météorologiques et assurant un maintien de la qualité au plus près du fourrage vert. L'optimisation de l'itinéraire de récolte est nécessaire pour limiter les pertes quantitatives et qualitatives au cours des différentes interventions mécaniques. Selon cette revue, le stade de maturité du fourrage et son taux d'incorporation dans la ration constituent les deux leviers fourragers principaux permettant d'améliorer le niveau d'autonomie protéique des élevages de bovins. La famille botanique du fourrage semble avoir une moindre importance, tandis que le mode de conservation aurait un effet marginal. La densité énergétique des légumineuses fourragères étant généralement moindre que celles des graminées, une attention doit être portée sur la complémentation énergétique des rations. Selon les fourrages disponibles dans un élevage, il est nécessaire d'orienter les meilleurs fourrages vers les bovins à fort niveau de production. La mise en pratique des leviers cités précédemment doit être raisonnée au niveau du système d'exploitation.

Introduction

L'autonomie en protéines est un objectif de plus en plus recherché dans les élevages bovins, pour des raisons économiques, environnementales ou sociétales. Pour tendre vers un niveau d'autonomie maximal dans les rations des bovins à l'auge, l'optimisation de la chaîne de production des fourrages (culture, récolte et conservation) et **la valorisation de fourrages de qualité constitue un levier majeur**. Néanmoins, la quête d'un niveau élevé d'autonomie peut toutefois s'avérer **compliquée pour les animaux à haut niveau de production** nécessitant des apports élevés en énergie et en protéines.

Les fourrages composent la majorité des aliments de la rations des bovins en France. Chez la vache laitière, la part moyenne d'herbe (fraîche et conservée) et celle de maïs fourrage représentent respectivement 37 et 38 % de la matière sèche (MS) de la ration annuelle, avec une forte variabilité selon le type de système, l'année et la saison (Observatoire de l'alimentation des vaches laitières françaises, 2019). Bien que très variable intra-système, **la part d'herbe dans la ration des vaches laitières est positivement corrélée au niveau d'autonomie protéique**, à l'inverse du maïs fourrage. Dans les systèmes herbagers (< 15 % de maïs ensilage dans la ration fourragère annuelle en MS), le niveau d'autonomie protéique moyen est de 70 %. Ce niveau d'autonomie est respectivement inférieur de 4, 13 et 24 points pour les systèmes mixtes herbe-maïs (15-50 % de maïs ensilage), mixtes maïs-herbe (50-85 % de maïs ensilage) et maïs dominant (>85 % de maïs ensilage) par rapport aux systèmes herbagers (Lefer et al., 2022). Chez les animaux destinés à l'engraissement (races laitières ou allaitantes), l'herbe conservée tient une place faible à modérée selon le type d'animal. Pendant la phase d'engraissement, elle est comprise entre 3 et 6% chez les bovins mâles ou femelles abattues en dessous de 20 mois, et entre 25 et 37% pour les bœufs, génisses (>20 mois) et vaches de réforme (lait ou allaitant). **La part de correcteur azoté est en moyenne supérieure dans les rations d'engraissement incorporant peu d'herbe conservée** (Douhay et Brouard, 2021).

Bien que présentant des intérêts en termes de rendement, de qualité de conservation par ensilage et de valeur énergétique, **le maïs fourrage est déficitaire en protéines par rapport aux besoins d'une vache laitière ou d'un jeune bovin**. Il nécessite donc une complémentation azotée, souvent réalisée avec des tourteaux oléagineux métropolitains ou importés. Toutefois, la forte variabilité d'autonomie protéique observée intra-système laitier et allaitant laisse entrevoir **des marges de progrès significatives pour les élevages les moins autonomes**. L'incorporation d'un fourrage plus riche en protéines s'avère être le 1^{er} levier pour les rations

distribuées à l'auge. Plusieurs études ont montré qu'il permettait de réduire l'utilisation de correcteur azoté, mais il convient d'évaluer l'effet des principaux paramètres qui influent sur la qualité de ces fourrages (famille botanique, stade de maturité, mode de conservation) répondant le mieux à cet enjeu et le taux d'incorporation de ces fourrages dans les rations pour maintenir un niveau de production équivalent.

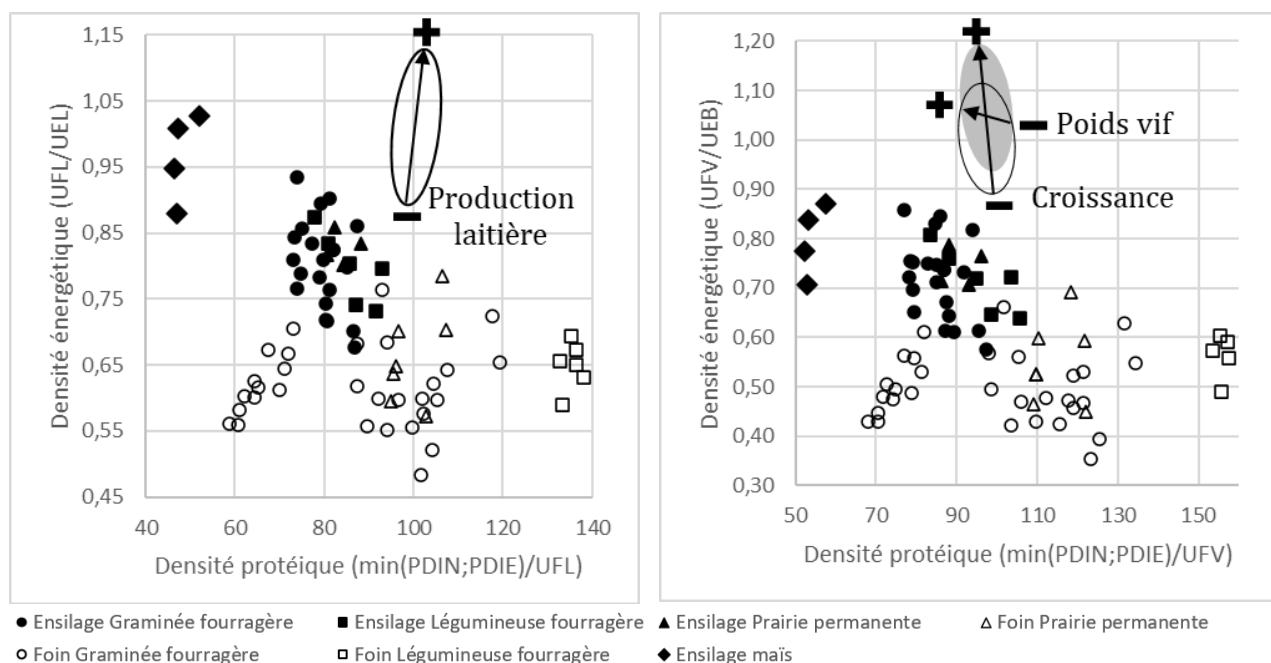
I. Adéquation entre la valeur alimentaire des fourrages conservés et les besoins des vaches laitières et des jeunes bovins

Cet article s'appuie sur une majorité de références publiées avant la mise en place du système d'alimentation INRA 2018. Par soucis de simplification, les auteurs ont fait le choix d'indiquer les paramètres de valeur alimentaire calculés avec le système d'alimentation INRA 2007.

La valeur alimentaire d'un fourrage et les besoins des animaux sont exprimés dans les mêmes unités dans le système d'alimentation INRA 2007. La valeur énergétique des aliments est exprimée en énergie nette pour la production de lait (UFL : unité fourragère lait) ou pour la production de viande (UFV : unité fourragère viande). La valeur protéique est exprimée en PDI (Protéines Digestibles dans l'Intestin) et discriminée par le facteur limitant la synthèse microbienne : l'énergie (PDIE) ou l'azote (PDIN). La valeur d'encombrement des fourrages est exprimée en UEL (Unité Encombrement Lait) pour les vaches laitières ou en UEB (Unité d'encombrement Bovin) pour les bovins en croissance ou allaitant.

Les indicateurs de **densité énergétique (UF/UE)** et **protéique (PDI/UF)** des fourrages permettent d'évaluer la capacité du fourrage à couvrir les besoins en énergie et protéines des ruminants. La figure 1 représente la valeur alimentaire des principaux fourrages conservés utilisés dans l'alimentation des vaches laitières et des jeunes bovins, récoltés à différents stades de maturité.

FIGURE 1 : **Densité énergétique (UF/UE) et protéique (valeur minimale entre PDIN et PDIE/UF)** des principaux fourrages conservés (adapté de Baumont et al., 2007), en relation avec les besoins de production des vaches laitières (figure de gauche ; adapté de Faverdin et al., 2007) et des jeunes bovins (figure de droite ; adapté de Garcia et al., 2007). Besoins énergétique et protéique (ellipse incolore) d'une vache de 650 kg en 16^{ème} semaine de lactation pour une production laitière comprise entre 6 000 et 10 000 L de lait (305 j de lactation) contenant 42 et 33 g TB et TP/ kg de lait. Besoins énergétique et protéique d'un jeune bovin Limousin (ellipse grise) et Charolais (ellipse incolore) pesant entre 350 et 650 kg et une croissance comprise entre 1 200 et 1 800 g/j.



Les besoins en énergie et en protéines des **vaches laitières** dépendent de l'animal (âge, poids, stade de lactation/gestation), de son niveau de production (lait, TB et TP) et de son activité. L'évolution du potentiel des animaux laitiers ayant progressé plus rapidement que leur capacité d'ingestion, **la densité énergétique constitue un facteur limitant majeur de la production laitière** (Delaby et al., 2009). A titre d'exemple, la densité énergétique de la ration d'une vache produisant 6 000 kg de lait par an, en 16^{ème} semaine de lactation, est de 0,90 UFL/UEL contre 1,14 UFL/UEL pour une vache à 10 000 kg lait/an (Figure 1).

Les besoins en énergie des **jeunes bovins** sont dépendants de la précocité (race), de l'âge, du poids et de l'objectif de croissance. En cohérence avec la composition corporelle du jeune bovin et la composition du gain de croît, **les besoins en énergie augmentent au cours de l'engraissement par rapport aux besoins en**

protéines, se traduisant par une diminution progressive de la densité protéique de la ration. En lien avec une capacité d'ingestion plus faible pour les jeunes bovins Limousins par rapport aux Charolais, la densité énergétique minimum de la ration est plus élevée à même poids vif (Figure 1). Alors que la densité énergétique de la ration d'un jeune bovin Charolais augmente légèrement au cours de l'engraissement, celle du jeune bovin Limousin passe par un pic à 450 kg de poids vif. Le modèle de production du jeune bovin vise à assurer une croissance élevée tout au long de la période d'engraissement pour valoriser leur potentiel de croissance. Elle nécessite une ration riche en énergie, systématiquement supérieure à 1,00 UFV/UEB pour les animaux ayant un GMQ supérieur à 1500 g/j, souvent basée sur le maïs ensilage et/ou les céréales.

L'utilisation de fourrages conservés, même d'excellente qualité, ne peut subvenir exclusivement aux besoins de ces deux catégories à fort niveau de production. Le recours aux aliments concentrés, denses en énergie et/ou protéines, permet alors d'équilibrer les fourrages de la ration. Toutefois, l'intégration de fourrages plus riches en protéines que l'ensilage de maïs dans les rations, bien que moins denses en énergie, présentent de multiples intérêts : fibrosité de la ration et santé digestive, réduction des interactions digestives, diminution de la quantité de correcteurs azotés, etc.

2. Principaux facteurs de variation de la qualité des fourrages à la récolte

La **qualité d'un fourrage conservé dépend en premier lieu de la qualité du fourrage vert** (Demarquilly et al., 1989 ; Deroche et al., 2022). Des équations ont été développées pour prévoir certaines composantes chimiques, la digestibilité et l'ingestibilité du fourrage conservé à partir de ces mêmes caractéristiques mesurées sur le fourrage vert au moment de la fauche (Baumont et al., 2007, 2018). Pour espérer obtenir des performances zootechniques importantes et réduire l'utilisation de correcteurs, il convient de maîtriser les facteurs de variation de la qualité de l'herbe sur pied. De nombreux paramètres existent (cycle de végétation, fertilisation, moment de fauche dans la journée...). Cet article se concentre néanmoins sur les principaux facteurs que sont la famille botanique et le stade de maturité.

2.1 Effet de la famille botanique sur la qualité des fourrages

Les composantes chimiques et la valeur alimentaire des principales graminées et légumineuses fourragères cultivées sont référencées dans les tables INRA (Baumont et al., 2007, 2018). En moyenne, **les graminées** contiennent davantage de fibres (NDF), glucides solubles et **sont plus digestibles que les légumineuses**. A l'inverse, ces dernières **sont plus ingestibles et plus riches en cendres et en protéines** (ou MAT : + 68 g/kg MS). La moindre digestibilité du NDF des légumineuses à tige (sainfoin, luzerne, trèfle violet) diminue leur digestibilité et leur valeur énergétique par rapport aux graminées (Baumont et al., 2016). Leur **densité énergétique est ainsi inférieure. La valeur azotée des légumineuses est supérieure** (+42 g PDIN et + 5 g PDIE/kg MS), conduisant à des densités protéiques légèrement (PDIE/UF) ou fortement (PDIN/UF) supérieures (Baumont et al., 2007). Nutritionnellement, l'association de ces deux familles permet de produire des fourrages plus équilibrés en énergie et protéines, et modifie le comportement alimentaire. L'ingestion est améliorée lorsqu'une graminée et une légumineuse sont offertes simultanément, avec un bénéfice optimum situé entre 25 et 50% de légumineuses dans le mélange. Celui-ci est toutefois restreint avec la présence de nombreuses espèces végétales au sein de ces deux familles botaniques. La présence de métabolites secondaires dans certaines légumineuses (sainfoin, lotier corniculé...) peut modifier les interactions digestives ruminales, notamment réduire la dégradabilité théorique de l'azote de la plante qui les contient (Niderkorn et Baumont, 2009 ; Baumont et al., 2016), mais aussi des autres plantes associées (Aufrère et al., 2013). Certaines légumineuses peuvent également réduire le risque de météorisation ou de parasitisme, modifier la qualité des produits ou réduire les émissions de méthane (Baumont et al., 2016). Bien que les espèces de graminées et de légumineuses présentent des différences de valeur alimentaire à un stade donné, **le choix des espèces est déterminé en premier lieu par les conditions pédoclimatiques, la pérennité et l'utilisation dominante**. Les critères de productivité, de vitesse d'installation et de valeur alimentaire sont généralement pris en compte dans un second temps. Par rapport à une graminée pure, la présence de légumineuse(s) associée(s) permet à la graminée de bénéficier de la fixation symbiotique, ce qui réduit le niveau de fertilisation azotée pour un même niveau de productivité de la prairie (Louarn et al., 2016 ; Protin et al., 2014), ainsi qu'une moindre variabilité de production interannuelle pour les prairies multi-espèces en conditions séchantes (Lorgeou et al., 2007). Au sein d'une rotation, des reliquats d'azote assurent également une économie de fertilisant (Bossis et al., 2016).

Les **mélanges céréales protéagineux immatures (MCPI, méteils ou CERPRO)**, cultivés en culture principale ou en dérobée, présentent de nombreux atouts pour la production fourragère. Leur implantation, plus tardive qu'une prairie, permet d'**esquiver les sécheresses estivales** de plus en plus fréquentes. **La composition du mélange et le stade de récolte sont les deux leviers principaux pour piloter le rendement et la qualité** (Daveau et Fortin, 2022). Ainsi, pour un stade de récolte donné, plus la part de protéagineux est élevée, plus les valeurs énergétique et protéique du MCPI sont élevées. Néanmoins, les mélanges récoltés précocement à dominante céréales recevant une fertilisation azotée adaptée en sortie d'hiver présentent une valeur alimentaire proche de celle des mélanges à dominante protéagineux (Lagrost, 2022). En l'absence de

fertilisation azotée, les MCPI à dominante céréales ou protéagineux présentent des potentiels de rendement équivalents. A l'inverse, la fertilisation azotée des MCPI à dominante céréales permet généralement de meilleurs rendements par rapport aux MCPI à dominante protéagineux.

Le **maïs fourrage** plante entière présente une plus faible teneur en parois que les fourrages prairiaux, dû à la production de grains, avec un ratio fibre/grain variable selon les conditions de culture, le stade de récolte et la variété. Sa teneur en glucides solubles est variable, mais généralement suffisante pour l'acidification du fourrage. **Sa densité énergétique est généralement supérieure aux fourrages prairiaux, mais alors qu'il est déficitaire en protéines** (Baumont et al., 2007).

Les **sorghos fourragers** sont classés en 2 catégories : monocoupe ou multicutures. Au sein des **sorghos monocoups**, il existe une forte diversité génétique affectant le profil énergétique et la valeur alimentaire de ce fourrage. Ces sorghos pourraient présenter des intérêts en termes de rendement en conditions limitantes. Ils ont une **valeur énergétique proche de celle du maïs fourrage** pour les variétés les plus performantes, **mais sont tout aussi déficitaire en protéines** (Chauveau et Uijtewaal, 2020). Les **sorghos multicutures** constituent une ressource fourragère valorisable au pâturage ou affouragée (vert, conservée) en période estivale. A l'instar des autres dérobées estivales, leur productivité est très variable selon la date de semis et les conditions climatiques estivales. Une attention doit être portée sur la hauteur des plantes (>60 cm) pour une exploitation en pâturage pour éviter les intoxications alimentaires. Sa composition chimique et sa valeur alimentaire est proche de celle d'une fétuque élevée. Selon des mesures récentes, les sorghos multicutures présentent une **teneur en énergie comprises entre 0,71 à 0,98 UFL/kg MS et en protéines de 7,5 à 13,2 % MAT, pour des rendements allant de 3,5 à 7 tMS/ha** (Arvalis, 2022). De nombreuses autres graminées associées ou non avec des légumineuses sont utilisables en cultures **dérobées d'été** et peuvent présenter de bonnes valeurs nutritionnelles (Herremans et al., 2018). Ils constituent une alternative intéressante pour allonger la période de pâturage en été ou reconstituer des stocks rapidement. En revanche, ils ne peuvent pas constituer la majorité du stock de fourrages conservés sur l'exploitation au vu de leur forte variabilité de rendement notamment lorsqu'ils sont semés après moisson.

Les crucifères (choux, colza fourrager) présentent des valeurs alimentaires élevées en vert (Meslier et al., 2014). Néanmoins, leur morphologie les rend peu aptes à la récolte. De plus, leur faible teneur en MS sur pied, associée à la difficulté de séchage au champ et le risque élevé d'incorporation de terre dans le fourrage rendent délicat leur conservation par voie humide. La valorisation des espèces de cette famille ne sera donc pas traitée dans cet article.

2.1.1 Effet de la famille botanique du fourrage sur les performances des vaches laitières

Plusieurs études ont comparé l'utilisation d'ensilages de graminées et de légumineuses dans des rations de vaches laitières basées sur l'herbe ou sur le maïs ensilage. **L'utilisation de l'ensilage de trèfle violet en remplacement d'une graminée permet généralement d'améliorer l'ingestion de la ration et la production laitière** (Dewhurst et al., 2003 ; Moorby et al., 2009) ou la valorisation de la ration (Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2014 ; Vanhatalo et al., 2009), mais **tend à diminuer l'efficacité de l'utilisation de l'azote pour la synthèse protéique. L'association des graminées et du trèfle violet améliore généralement l'ingestion de la ration** par rapport à une graminée seule.

Des **effets comparables sont mis en avant avec l'ensilage de luzerne**. Malgré une moindre digestibilité des fibres de la luzerne par rapport aux graminées, à même teneur en NDF, leur ingestibilité supérieure serait due à une dégradation et un taux de transit plus rapide (Dewhurst et al., 2003 ; Hoffman et al., 1998).

La synthèse proposée par Mulat et Yong (2022) à partir de 16 comparaisons (ensilage de graminée pure VS ensilage de luzerne ou trèfle violet) met en avant un gain de 1,8 kg/j aussi bien sur l'ingestion que sur la production laitière, mais un taux protéique inférieur de 0,6 g/kg avec une ration contenant l'ensilage de légumineuses.

2.1.2 Effet de la famille botanique du fourrage sur les performances des bovins en croissance et à l'engraissement

Chez les **jeunes bovins** laitiers ou les bœufs, **une ration à base de légumineuse en remplacement de la graminée est plus performante et réduit l'utilisation de correcteur azoté**. Une synthèse montre la plus forte ingestion des ensilages de luzerne (+15%) ou de trèfle violet (+16%) que de graminée, pour un gain de 8% de croissance uniquement avec la luzerne, mais +32% (+200 g/j) pour le trèfle violet. Avec des croissances très proches (1230 g/j), **le remplacement total d'ensilage de Ray Grass d'Italie par un ensilage de Trèfle Violet réduit l'utilisation de correcteur azoté** (35 % MAT) de 118 kg MS/animal, **mais augmente la quantité de céréales** (+113 kg MS/animal) et le besoin en herbe (+143 kg MS/animal) sur 251 jours d'engraissement (Raymond, 1982).

En comparaison d'un enrubannage de graminée et/ou de prairie permanente, **l'incorporation d'une quantité croissante de légumineuse (40 – 56%) réduit voire supprime la quantité de correcteur azoté nécessaire chez des génisses allaitantes** (Tableau 1). L'ingestion et la croissance ne sont pas affectées, tandis

que **la part de céréales dans la ration augmente**. Au sein de l'essai mené sur la ferme expérimentale des Bordes (Buteau, 2023), les croissances des génisses ayant reçu peu d'herbe conservée sont obtenues en incorporant de la paille pour limiter leur croissance (choix expérimental). En pratique, la paille pourrait être réduite ou supprimée, permettant d'améliorer la croissance.

Chez les **vaches de réforme**, la famille botanique du fourrage majoritaire affecte peu les performances et la ration. En effet, le **remplacement total d'un enrubannage de prairie permanente par de la luzerne n'affecte pas le niveau de correcteur azoté** dans la ration (Tableau 1). Cette absence de différence notable avec les jeunes bovins ou génisses provient en partie de la plus forte capacité d'ingestion des vaches qui nécessitent des rations de moindre densité énergétique et protéique. La réponse zootechnique diffère sur l'ingestion et les croissances entre la ferme expérimentale de Jalogny (2016) et celle de Thorigné d'Anjou (Coutard et al., 2016).

L'utilisation d'une **dérobée estivale** pour compléter l'affouragement ou augmenter son stock fourrager peut séduire certains éleveurs. Au vu des résultats intermédiaires de l'étude menée à la ferme expérimentale de Jalogny (2019 et 2020), **les performances** (ingestion et croissance) **sont inférieures avec un enrubannage de dérobée** (pois, sorgho, vesce commune, trèfle d'Alexandrie) **par rapport à un enrubannage de prairie permanente**, tandis que les besoins en correcteur azoté et en surface agricole sont augmentés. Ces premiers résultats s'expliquent par un faible rendement (1,5 – 2,7 tMS/ha) et une prédominance du sorgho dans le fourrage récolté. Ils ne sont pas généralisables à l'ensemble des dérobées, puisque de très nombreux mélanges d'espèces végétales et familles botaniques peuvent être créés. Ils montrent toutefois la forte dépendance de cette interculture aux conditions météorologiques estivales et à la qualité d'implantation des espèces semées. Le rendement et la qualité de ces couverts estivaux étant aléatoires, mieux vaut les considérer comme une opportunité pour conforter son bilan fourrager.

TABLEAU 1 : Effet de la composition botanique du fourrage conservé sur les performances et la composition de la ration de femelles en croissance ou à l'engraissement. Gra. : graminées, PP : prairie permanente, lég. : légumineuses, dér. : dérobée estivale (pois, sorgho, vesce commune, trèfle d'Alexandrie,) épi. : épiaison, bourg. : bourgeonnement, * : mélange triticales et pois

	Catégorie animale	Prairie	Stade de récolte	Ingestion totale (kg MS/j)	% herbe conservée	% céréales	% correcteur azoté	% paille	Croissance (g/j)	Durée d'essai (j)
Ferme expérimentale des Bordes, 2013	Génisses viande (abattage 13 mois)	Gra.	Début épi.	8,4	46	32	11		1030	120
		Lég.	Bourg.	8,2	58	40			957	132
Buteau, 2023	Génisses viande (abattage 17 mois)	Gra. & PP	Début - fin épi.	10,1	61	30	7		1147	207
		Gra. & PP	Début - fin épi.	9,7	43	39	8	8	1107	217
		Lég.	Bourg.	9,8	57	41			1185	206
		Lég.	Bourg.	9,1	41	48	2	9	1104	216
Ferme expérimentale de Jalogny, 2016	Vaches de réforme	PP	Début épi.	15,6	55	39		6	1170	105
		Lég.	Bourg.	17	59	41			1170	105
Coutard et al., 2016	Vaches de réforme	PP	-	13	61	39*			1082	65
		Lég.	-	13	61	39*			850	65
Ferme expérimentale de Jalogny, 2019 et 2020	Génisses de renouvellement (8 mois)	Dér.	-	7,4	83	9	7		751	75
		PP	Début épi.	6,9	84	11	3		927	75

2.2 Effet du stade de maturité sur la qualité du fourrage

Au sein de chaque famille botanique, **le stade de maturité est considéré comme le premier facteur de variation de la qualité du fourrage**. Il peut être mesuré dans le couvert végétal sur une espèce ou l'ensemble des espèces végétales, mais peut aussi être approché à partir la somme de températures atteint lors de la fauche (Theau et Zerourou, 2008). Une **récolte tardive** conduit à une baisse de la part de feuilles dans la plante, riches en éléments nutritifs, au profit de la tige. **La valeur alimentaire est ainsi diminuée**, notamment la digestibilité et l'ingestibilité. Elle est toutefois plus marquée chez les graminées, notamment à partir du stade montaison,

lorsque la tige se développe à l'intérieur de la gaine (Baumont et al., 2007, 2018). Concernant les MCPI, Daveau et Fortin (2022) ont rapporté une accumulation de biomasse de l'ordre de 100 kg MS/j entre une récolte précoce (5/05) et une récolte tardive (5/06), accompagnée d'une baisse de la valeur énergétique de 0,06 à 0,10 UFL/kg MS et azotée de 36 à 48 g/kg MAT. Des références concordantes ont été acquises par la Chambre d'agriculture en région Centre Val de Loire (Lagrost, 2022).

Au sein d'une prairie multi-espèces ou permanente, la composition botanique diffère selon le stade de maturité. Les divergences entre les études ne permettent pas de généraliser sur l'évolution de chaque famille botanique dans le mélange. Au sein des graminées et diverses, **une récolte tardive est associée à une hausse de la part des espèces végétales à développement tardif, peu productives et de faible valeur nutritive** (Michaud et al., 2015 ; Andueza et al., 2019 ; Boob et al., 2019).

Une récolte tardive assure un rendement supérieur, mais cet effet décroît au cours de la maturité. La surface en are/animal nécessaire selon le besoin en herbe pour couvrir la période de production de l'animal est approchée dans le tableau 2 (adapté de Michaud et al., 2012 sur prairies permanentes). La récolte à un stade précoce (600°C jour) nécessite une surface importante, tandis qu'une avancée de la récolte de 1200 à 1000 °C jour affecte faiblement le besoin en surfaces. Le compromis entre rendement et surface en herbe serait situé autour de 800°C jour au sein de chaque type de prairie.

TABEAU 2 : Estimation de la surface (en are/animal) nécessaire pour couvrir l'affouragement des bovins selon le type de prairie et la somme de températures calculée ou le rendement mesuré à la récolte. Somme des températures entre 0 et 18°C depuis le 1er février (selon la méthode Theau et Zerourou, 2008 ; adapté de Michaud et al., 2012)

Type de prairie	Somme de températures (°C jour)	Rendement (kg MS/ha)	Besoins en herbe (kg MS/animal)				
			200	400	600	800	1000
Prairie à développement précoce et fertile	600	3 400	6	12	18	24	29
	800	4 600	4	9	13	17	22
	1 000	5 400	4	7	11	15	19
	1 200	6 000	3	7	10	13	17
Prairie à développement intermédiaire et fertile	600	2 600	8	15	23	31	38
	800	3 700	5	11	16	22	27
	1 000	4 500	4	9	13	18	22
	1 200	5 100	4	8	12	16	20
Prairie à développement tardif et peu fertile	600	9 00	22	44	67	89	111
	800	1 900	11	21	32	42	53
	1 000	2 800	7	14	21	29	36
	1 200	3 400	6	12	18	24	29

Une avancée du stade de maturité à la récolte doit également avoir lieu en conditions météorologiques favorables. En effet, le début d'année offre moins de longues fenêtres ensoleillées et les températures plus faibles peuvent allonger le temps de présence du fourrage au sol. La qualité du fourrage récolté peut ainsi être pénalisée (Baumont et al., 2007, 2018 ; Deroche et al., 2022). **L'utilisation de modes de conservation peu dépendants de ces conditions peut être privilégiée.**

Par synthèse bibliographique sur l'ensilage d'herbe, **une récolte retardée d'une semaine implique** une baisse moyenne de 3,3% de digestibilité. Pour compenser cette baisse de qualité, la **quantité de concentré est augmentée entre 0,8 et 1,55 kg MS/j chez les vaches laitières** (selon la part de concentré dans la ration et la valeur alimentaire de l'ensilage) et **0,2 kg MS/j chez les bovins en croissance** (Keady et al., 2013).

2.2.1 Effet du stade de maturité du fourrage sur les performances des vaches laitières

Deux essais « longue durée » conduits récemment sur la station expérimentale de Trévarez en agriculture conventionnelle (4 années) et biologique (2 années) ont évalué l'intérêt d'une fauche dite « précoce » (stade début montaison du RGH au 1^{er} cycle, fréquence de coupe de 4 à 5 semaines, 5 coupes/an) de prairies d'association RGH-TV par rapport à une fauche dite « classique » (stade début épiaison du RGH au 1^{er} cycle, fréquence de coupe de 6 à 7 semaines, 3 coupes/an). **La productivité de la prairie conduite en fauche précoce a été diminuée de 1,5 tMS/ha (-13 %) par rapport à la stratégie classique. La valeur nutritive ainsi que la production d'énergie nette et de protéines par hectare ont systématiquement été améliorées.** Dans une ration basée à 60 % sur le maïs ensilage et 40 % sur l'herbe ensilée, **la récolte précoce a augmenté la production laitière de 1,9 kg/j, expliquée par une ingestion supérieure de 1,7 kg MS/j**, sans effet sur les taux du lait (Brocard et al., 2019). Malgré un **temps de travail augmenté de 2h30 par hectare** en stratégie « fauche précoce », soit un **surcoût moyen estimé à 20 €/tMS** (2 coupes supplémentaires, rendement

inférieur), les auteurs mettent en avant un gain de marge de l'ordre de 0,4 €/vache/jour (Tranvoiz et Brocard, 2020a).

Dans le système conduit en agriculture biologique, les vaches ont reçu de l'herbe ensilée à volonté, issue d'une récolte dite « précoce » (début montaison) ou « classique » (début épiaison), complétée par 5 kg MS de maïs fourrage et 2,5 kg MS de concentrés énergétiques. La ration classique étant fortement déficitaire en protéines (76 g PDI/UFL), **l'herbe récoltée précocement** a permis une **augmentation très importante de l'ingestion de 4,2 kg MS/j** (moindre encombrement du fourrage et densité protéique supérieure de la ration) se traduisant par une **augmentation de la production laitière de 4,0 kg/j** sans effet sur les taux. Dans le contexte de prix de ces essais, **le gain de marge a été évalué à 1,5 €/vache/jour** avec la récolte précoce malgré un coût alimentaire supérieur de 0,5 €/vache/jour (Tranvoiz et Brocard, 2020b). L'optimisation de la valeur alimentaire de l'herbe ensilée au détriment du rendement est donc jugée pertinente dans ces systèmes. A effectif constant, **cette stratégie nécessitera toutefois une plus grande surface fourragère** afin de compenser le moindre rendement de l'herbe et son ingestibilité plus élevée.

TABEAU 3 : Effets de la précocité de la récolte des fourrages prairiaux sur l'ingestion et les performances de production des vaches laitières. Bourg. : bourgeonnement, conc. : concentrés ; épi. : épiaison, flo. : début floraison, mont. : montaison, ens. : ensilage, RG : Ray-grass, RGH : Ray-grass hybride, TV : trèfle violet, TP : taux protéique, TB : taux butyreux, I : groupe de vaches hautes productrices, * : écart significatif au risque alpha de 5%

Référence	Type de fourrage	Stade de récolte précoce (stade du témoin)	% herbe conservée (% conc.)	Ecart au témoin				
				conc. (azoté)	Ingestion (kg MS/j)	Lait brut (kg/j)	TP (g/kg)	TB (g/kg)
Alstrup et al., 2016	Ens. RG-TV	4 ^{ème} cycle + 17 j (4 ^{ème} cycle + 33j)	53% (20%)	=	+0,4	-0,3	+1,2*	+0,8
			33% (50%)	=	+1,0*	+1,0	+0,3	-0,7
Brocard et al., 2019	Ens. RGH-TV	Début mont. (Début épi.)	40% des fourrages	/	+1,7*	+1,9*		
			Ad libitum (2,5 kg)	=	+4,2*	+4,0*		
Cabezas-Garcia et al., 2017	Ens. Fléole-TV	1 ^{er} cycle (+14 j)	64% (36%) Témoin 42% (58%)	-47% (-26%)	-3,3	-0,8	-0,7	+1,7
Nelson et Satter, 1990	Ens. Luzerne ¹	Bourg. (flo.)	55% (45%)	+5% (-64%)	+1,3*	+4,1*	+0,4	+0,3
		Début flo. (flo.)	55% (45%)	+7% (-40%)	+1,7*	+2,7*	+0,1	+1,5
	Ens. Luzerne	Bourg. (flo.)	55% (45%)	-2% (-39%)	-0,5	-0,5	+0,6	-0,2
		Début flo. (flo.)	55% (45%)	-1% (-12%)	-0,2	-0,7	-0,4	-1,4
	Foin Luzerne	Bourg. (flo.)	55% (45%)	-5% (-34%)	+1,0	+1,1	+0,6	-1,4
		Début flo. (flo.)	55% (45%)	-2% (-13%)	-0,4	0,0	-0,2	+0,5
Nelson et Satter, 1992	Ens. Luzerne	Bourg. (flo.)	60% (40%)	+6% (-36%)	+1,2	+1,9	+0,3	+0,8
	Foin Luzerne		60% (40%)	-3% (-15%)	-0,5	-0,7	0,0	+1,1
	Ens. Luzerne	Début bourg. (début flo.)	60% (40%)	-4% (-42%)	-0,9	+1,4	-0,4	+1,9
	Foin Luzerne		60% (40%)	+3% (-36%)	+0,7	-0,6	+1,0	-0,2
Rinne et al., 1986	Ens. Fétuque et fléole	1 ^{er} cycle 13/06 (+ 15 j)	67% (33%)	= (=)	+1,3*	+0,9*	+0,3	-0,4
	Ens. Fétuque et fléole	1 ^{er} cycle 13/06 (+ 21 j)	67% (33%)	= (=)	+1,4*	+2,8*	-0,1	-1,5
Vanhatalo et al., 2009	Ens. Fétuque	Début épi. (Epi.)	61% (39%)	-3% (-3%)	+1,1	+1,5	0,0	-0,3
	Ens. TV	Bourg. (début flo.)	60% (40%)	-7% (-7%)	-1,4	+0,3	-0,4	-2,0

L'effet d'une récolte plus précoce de fourrages prairiaux ensilés sur les performances de production a également été étudié sur **d'autres types de fourrages** (graminées pures, luzerne, prairies d'association) avec des **résultats parfois contrastés selon la stratégie de rationnement retenue** (Tableau 3). Dans la majorité des études, le **niveau d'ingestion et la production laitière sont améliorés** (en valeur absolue), sans effet sur les taux, avec une récolte plus précoce, à même ratio entre fourrages et concentrés. Ces effets sont surtout

observés sur les prairies à base de graminées, et de façon moins marquée sur celles à base de légumineuses. Ceci s'explique probablement par la diminution plus rapide des valeurs énergétique et protéique des graminées avec l'avancement en maturité par rapport aux légumineuses (Baumont et al., 2007, 2018). **Lorsque la proportion de fourrages et de concentrés reste identique dans la ration, une récolte précoce permet généralement de meilleures performances de production.** L'incorporation d'herbe récoltée plus précocement peut aussi permettre de baisser la part de concentrés tout en maintenant la production, à condition de bien adapter la complémentation. Sur une base de 15 comparaisons, Mulat et Yong (2022) ont mesuré une amélioration significative de la production laitière de 1,3 kg/j et une amélioration de l'efficacité alimentaire de 0,05 kg lait/kg MS ingérée, sans effet sur les taux du lait, en avançant le stade de récolte de l'herbe (tous types de prairies confondus).

2.2.2 Effet du stade de maturité du fourrage sur les performances des bovins en croissance ou à l'engraissement

Au sein de rations où l'ensilage d'herbe est distribué à volonté sans concentré ou une quantité fixe (2,6 kg MS/j en moyenne), les performances dépendent en premier lieu de la qualité de l'herbe récoltée (Tableau 4). Avec ou sans concentré, **une récolte plus précoce de graminées augmente l'ingestion et le niveau de croissance** de jeunes bovins (Randby et al., 2021). Pour une céréale, le stade n'affecte pas significativement ces paramètres zootechniques sur du foin ou de l'ensilage. Le besoin en correcteur azoté est faiblement réduit, tandis que le besoin en céréales augmente légèrement (Beck et al., 2009). Une récolte précoce conduit néanmoins à un **besoin en surface supérieure** à des stades où la productivité de la prairie est moindre. En associant les travaux de Randby et al. (2021) et ceux de la ferme expérimentale de Jalogny (Duhay et Renon, 2019) menés pendant 3 années **chez les jeunes bovins, un compromis entre qualité de l'herbe et quantité de fourrage récoltée serait situé au stade montaison si l'herbe conservée est le seul fourrage de la ration** en plus des concentrés. Les croissances sont ainsi élevées (1697 g/j) grâce à une **herbe de qualité (>0,85 UFV/kg MS, > 14% MAT)**. En accord avec l'effet de substitution des tables INRA, l'essai de Randby et al. (2021) montre que **l'intérêt du concentré s'amenuise lorsque l'on distribue un fourrage récolté précocement**. En effet, l'ajout du concentré améliore faiblement les performances à un stade début montaison (+162 g/j) par rapport à un stade tardif (+386 g/j). La dépendance au concentré est faiblement améliorée avec une récolte précoce, grâce à une durée d'engraissement raccourcie.

TABEAU 4 : Effet du stade de maturité du fourrage conservé sur les performances et la ration de bovins à l'engraissement. BRE : enrubannage, Ens. : ensilage, gra. : graminées, PP : prairie permanente, épi. : épiaison, flo : début floraison, mont. : montaison, *Concentré composé de 30% d'avoine, 18% de pois, 17,9% d'orge, 10% de blé, 10% de son de blé, 6% de tourteau de colza traitée thermiquement, 4,5% de mélasse, 4,6% de minéraux et vitamines

	Catégorie animale	Mode de conservation	Type de fourrage	Stade de maturité	Ingestion totale (kg MS/j)	% fourrage conservé (MS)	% céréales (MS)	% correcteur azoté (MS)	% paille (MS)	Croissance (g/j)	Durée d'essai (j)
Ferme expérimentale de Jalogny, 2016	Vaches de réforme allaitantes	BRE	PP	Début flo.	16,1	45	47	4	3	1170	105
				Epi.	16,0	50	44	3	3	1170	105
				Début épi.	15,6	55	39		6	1170	105
Randby et al., 2021	Jeunes bovins laitiers	Ens.	Gra.	Début mont.	9,3					1335	297
				Fin mont.	9,0					1224	291
				Epi.	7,9					929	282
				Début mont.	10,1	73	26*			1497	296
				Fin mont.	9,7	72	27*			1484	301
				Epi.	9,6	72	27*			1315	293
Beck et al., 2009	Génisses et bouvillons et allaitants	Ens. & foin	Blé	Début épi.	8,0	20	37	42		1182	63
				Pâteux	7,9	20	35	43		1214	63
	Bouvillons allaitants	Ens. & foin	Blé	Début épi.	7,1	40	28	30		1684	49
				Pâteux	7,0	40	24	34		1755	49

Pour une ration équilibrée à iso-croissance, les modifications escomptées portent sur le bilan alimentaire. **Chez des vaches de réforme, la récolte plus précoce** d'un enrubannage de prairie permanente **se traduit par une incorporation supérieure d'herbe dans la ration** (+5 points entre chaque stade), mais **une baisse de la part de correcteur azoté dans la ration de 4 à 0%** et une économie de céréales (Tableau 3). Pour cette catégorie animale, un enrubannage **récolté début épiaison serait optimal** (Ferme expérimentale de Jalogny, 2016).

3. Taux d'incorporation du fourrage riche en protéines dans la ration

3.1 Effet du taux d'incorporation du fourrage sur les performances des vaches laitières

L'incorporation de fourrages prairiaux riches en protéines dans les rations des vaches laitières à base de maïs fourrage permet de mieux équilibrer les apports en énergie et en azote dégradable de la ration de base, donc de **diminuer la complémentation en concentrés protéiques**. Néanmoins, la plus faible densité énergétique de l'herbe **implique par ailleurs de reconcentrer la ration en énergie** pour maintenir les apports en nutriments, au risque de pénaliser la production laitière et les performances laitières (Rouillé et al., 2015).

3.1.1 Les légumineuses fourragères pour maximiser l'apport des protéines

Les légumineuses fourragères telles que la luzerne et le trèfle violet ont fait l'objet de nombreuses études. Dans les **rations à base de maïs fourrage, la luzerne conservée sous forme humide** est bien valorisée, et les performances économiques maintenues, à condition de **limiter son incorporation à hauteur de 15 % de la MS ingérée**. La quantité de correcteur azoté peut-être réduite de près de la moitié avec une luzerne d'excellente qualité (Protin, 2016). **L'intérêt économique** à l'échelle du système semble **neutre à légèrement positif** selon les hypothèses retenues, et variable selon la différence de rendement entre maïs et luzerne, le ratio entre le prix de vente des céréales et le coût d'achat des correcteurs azotés (Uijtewaal et Battegay, 2015). Au-delà, il est possible de **substituer jusqu'à 50 % du maïs fourrage** (soit 30-35 % de la MS ingérée) en acceptant une **baisse de production de l'ordre de 5 % pour des vaches à plus de 30 kg de lait par jour**. En effet, la faible densité énergétique de la luzerne devient alors difficile à corriger tout en maintenant une base de maïs ensilage. La baisse de consommation de correcteur azoté (-50 à -64 % par rapport à un régime maïs fourrage plat unique) permet rarement de compenser la baisse de production de lait (-5 % de lait corrigé à 4 % MG en moyenne) dans les contextes de prix des dernières années (Rouillé et al., 2010 ; Férard et al., 2016a). Avec un tiers de luzerne ensilée dans la ration, la substitution plus importante du maïs ensilage par du maïs (grain sec, humide ou épi) peut toutefois permettre d'équilibrer des rations pour des vaches produisant 39,4 kg de lait par jour (Akins et Shaver, 2014). Capitain et al. (2003) ont simulé l'incorporation de 50 à 70 % de luzerne ensilée et fanée dans la ration en remplacement du maïs ensilage et des conserves de graminées sur 2 cas-types (plaine et montagne). La dépendance azotée (engrais et tourteau) est réduite de 70 à 80 % et le résultat économique est maintenu voire légèrement supérieur en tenant compte d'un rendement de la luzerne proche de celui du maïs et supérieur à celui des graminées prairiales.

Il est envisageable **d'incorporer plus de 50 % de luzerne ensilée dans les rations des vaches laitières hautes productrices à condition de substituer le maïs ensilage par une source d'énergie plus dense**. Un essai réalisé à la Jaillièrre en 2018 a testé la **complémentarité entre l'ensilage de maïs épi et la luzerne**. Un régime témoin à base de maïs fourrage (12 % de luzerne) a été comparé à deux régimes constitués de 37 % de maïs épi ensilé, 48 % de luzerne sous forme ensilée ou sous forme ensilée et déshydratée, 5 % de paille et 8 % de concentrés à base de tourteau de colza protégé et/ou de pulpe de betterave déshydratée. **Le niveau d'autonomie protéique de la ration a été amélioré de 25 à 33 points par rapport au régime témoin**. La production laitière a été maintenue mais les taux du lait ont été significativement diminués dans les régimes à base de maïs épi et de luzerne (Férard et al., 2018).

L'utilisation du trèfle violet dans les rations à base de maïs ensilage doit faire l'objet des mêmes précautions que la luzerne. Bien que plus dense en énergie que la luzerne, son incorporation dans la ration en substitution du maïs ensilage doit être corrigée en énergie pour maintenir les apports. L'utilisation du **trèfle violet en remplacement de la moitié du maïs fourrage a tendance à pénaliser la production laitière** de 6 à 7 % et le taux protéique de 1 à 2 points sur des animaux produisant 28 à 30 kg de lait par jour (Brunschwig et al., 2008, Dewhurst et al., 2010). La synthèse de 7 essais proposée par Chenais et al. (1993) met en avant un **fort effet du taux de MS de la légumineuse à la récolte sur l'ingestion de la ration**. A plus de 28 % MS, la ration mixte ensilage de maïs et trèfle violet est consommée en quantité équivalente à une ration maïs ensilage plat unique, alors que l'ingestion est systématiquement pénalisée lorsque la teneur en MS est inférieure à 28 % MS.

A l'instar des ensilages de graminées et de légumineuses, les ensilages de MCPI présentent une valeur alimentaire élevée lorsqu'ils sont conduits en **stratégie de récolte précoce** (Daveau et Fortin, 2022 ; AFPF, 2018). Cette stratégie **permet d'incorporer jusqu'à 50 % de MCPI dans la ration pour des vaches laitières produisant 30 kg de lait par jour** (Mamet et al., 2018 ; Essai Arvalis La Jaillièrre 2022 : données non publiées). Une **récolte intermédiaire (début épiaison des céréales)** peut être utilisée pour **substituer le fourrage fibreux de la ration** (paille, foin tardif, etc.) tout en apportant une plus grande quantité d'énergie et de protéines.

L'incorporation de 10 % de MCPI en substitution de la paille et de maïs ensilage maintient les performances zootechniques pour une économie de 0,5 kg de tourteau de soja par vache et par jour (Beaumont et al., 2015). En revanche, l'incorporation de MCPI en récolte tardive à 50 ou 100 % des fourrages de la ration en remplacement du maïs fourrage peut fortement pénaliser l'ingestion et la production laitière (Brunschwig et Lamy, 2008).

3.1.2 Les graminées seules ou associées à des légumineuses récoltées précocement : l'équilibre énergie/protéines

Les graminées, cultivées seules ou en association avec des légumineuses, récoltées précocement sont généralement moins riches en protéines que les légumineuses pures, mais elles présentent un meilleur équilibre entre teneur en énergie et en protéines facilitant leur incorporation en quantité élevée dans les rations.

La substitution partielle du maïs ensilage par de l'herbe ensilée est généralement associée à une baisse de l'ingestion, variable selon la qualité du fourrage et sa teneur en MS. Dans une ration contenant 70 % d'ensilage de maïs et de ray-grass anglais préfané (ratio 70:30 ou 30:70), l'augmentation de la part d'herbe ensilée de qualité moyenne (2^{ème} cycle, repousses de 8 semaines) a diminué l'ingestion de 1,3 kg MS/j et la production laitière de 1,0 kg/j sans effet sur les taux du lait (Hart et al., 2015). D'autres études confirment une baisse de l'ingestion avec l'augmentation de la part d'herbe ensilée (à iso-proportion fourrage/concentré), sans effet sur la production laitière traduisant une meilleure efficacité alimentaire jusqu'à 35-40 % d'herbe ensilée dans la ration (Chauveau et al., 2022 ; Kliem et al., 2008). Néanmoins, une baisse du taux protéique a été observée dans ces essais.

Le remplacement de la totalité du maïs ensilage par de l'herbe ensilée nécessite un fourrage d'excellente qualité, bien préfané et conservé, et ce d'autant plus que les besoins des animaux sont élevés. Lorsque la densité énergétique du fourrage est trop limitée par rapport aux besoins des vaches laitières, l'ingestion des régimes à base d'herbe (>50 % de la ration) peut être réduite de près de 30 % réduisant la production de matières utiles (Jurquet et al., 2020 ; Mulligan et al., 2002). Avec une herbe d'excellente qualité (0,98 UFL/kg MS, 16,7 % MAT), **l'incorporation de plus de 50 % d'herbe conservée complétée par du maïs épi** permet de maintenir un niveau d'ingestion équivalent aux régimes base maïs, à condition qu'elle soit bien préfanée. Dans ce cas, **le niveau de production laitière n'est pas impacté, même avec des vaches produisant plus de 30 kg de lait par jour**, avec toutefois une baisse du taux protéique. Dans ce cas, **l'autonomie protéique est améliorée de 25 points** par rapport au régime à base de maïs fourrage (52 % sur la base de la MAT) réduisant ainsi la consommation de tourteau de colza de 2,3 kg par vache et par jour (Chauveau et al., 2022).

3.2 Effet du taux d'incorporation du fourrage sur les performances des bovins en croissance ou à l'engraissement

L'incorporation d'herbe conservée affecte différemment les performances zootechniques selon la ration de base.

Au sein de **rations sèches, l'incorporation d'herbe conservée en remplacement de la paille et d'une partie des concentrés maintient** le même niveau d'ingestion et de **croissance**. Il est recommandé de **ne pas excéder 35% de MS d'herbe conservée** dans la ration (graminée pure ou associée à des légumineuses). De ce fait, **la quantité de céréales et tourteau** (équivalent colza) **sont réduits** pendant l'engraissement (-199 et -329 kg MS/animal), **de même que le coût de la ration** et sa variabilité annuelle (Bossis et al., 2016 ; Férard et al., 2015, 2016b). **L'utilisation d'une légumineuse conservée pure améliore d'autant plus l'autonomie protéique.** Avec 28% d'enrubannage de luzerne, l'économie est de 363 kg de correcteur azoté (70% tourteau de soja, 30% luzerne déshydratée), sans affecter la quantité de correcteur énergétique (Guillaume et al., 2014 ; Tableau 5). Pour couvrir la production de fourrages de ces précédents essais (770 et 583 kg MS/animal d'herbe conservée), le besoin en surface est situé autour de 11 ares par jeune bovin.

Au sein de **rations à base d'ensilage de maïs**, plusieurs études ont montré que l'introduction d'herbe ensilée réduit en moyenne les quantités de matière sèche ingérée totale (-1,5 kg MS/j) et la croissance (-0,23 kg/j) (Keady, 2005). Ces résultats s'expliquent en partie par un encombrement de l'ensilage de maïs en moyenne inférieur à l'herbe ensilée à base de graminée (Baumont et al., 2007). Cette précédente **baisse de performances n'est toutefois pas observée lorsqu'une herbe conservée de qualité est distribuée** (eg. Ensilage de RGI à 0,86 UFV et 15% MAT ; Guillaume et Le Pichon, 2016).

Chez les jeunes bovins, la méta analyse réalisée par Férard et al. (2015, 2016b) regroupe des essais comparant l'incorporation d'herbe conservée en remplacement du maïs ensilage. Ils recommandent de **ne pas excéder 30% de MS d'herbe conservée dans la ration pour conserver des croissances supérieures à 1400 g/j. L'efficacité alimentaire est réduite**, en raison d'un bilan alimentaire augmenté de 142 kg MS/animal pour une même croissance. En détails, **la quantité de tourteau** (équivalent colza) **est réduite** de 48 kg MS/animal, mais 194 kg MS/animal de **céréales sont nécessaires en plus**. L'ensilage de maïs est remplacé par l'herbe conservée à raison de 860 kg MS/animal. Le **coût alimentaire est détérioré** en moyenne

de 34 €/animal, mais moins variable, tandis que le besoin en surface est augmenté de 3 ares/animal (-3 ares en maïs fourrage et +6 ares d'herbe). Le choix d'incorporer de l'herbe conservée dans la ration doit être jugé à l'aune des caractéristiques du système d'exploitation (rendements en maïs et en herbe, capacité de production à l'interculture, coût et disponibilité des matières premières...).

Le tableau 5 regroupe des essais dont les catégories de bovins et/ou la nature du fourrage remplaçant l'ensilage de maïs diffèrent du paragraphe précédent. De façon générale, **le fourrage qui remplace l'ensilage de maïs conduit à augmenter l'ingestion totale de la ration**, mais **maintient le même niveau de croissance**. **L'efficacité alimentaire est ainsi réduite**. Pour des raisons propres à certains essais, les croissances du lot avec le fourrage remplaçant l'ensilage de maïs sont parfois volontairement limitées avec de la paille (Le Pichon et Guillaume, 2014) ou par rationnement (Fossaert et Guy, 2020 ; Brasseur et al., 2022). Ceci reflète la moindre densité énergétique des fourrages de remplacement utilisés. Concernant le sorgho monocoupe, les croissances sont réduites par rapport au lot avec ensilage de maïs lorsque la teneur en MS à récolte est faible (inférieure à 28 % MS), mais peuvent être maintenues avec des sorghos de bonne valeur alimentaire récoltés à maturité. Ce fourrage affecte faiblement la quantité de correcteur azoté, ce qui ne permet pas de l'associer à une amélioration de l'autonomie protéique. Un remplacement partiel (50 à 75% du maïs fourrage) semble ainsi préférable, selon les résultats de Férard (2016) et de Fuchey (2013). Pour les autres fourrages, **un remplacement total du maïs ensilage réduit le correcteur azoté** dans la ration entre - 5 et -16 points sur la MS totale ingérée. Hormis certaines exceptions, le revers porte sur **un besoin supérieur en céréales** (+4 à +13 points) pour compenser la moindre densité énergétique des fourrages riches en protéines. La quantification des concentrés par animal reste délicate, puisque la durée d'essai, la nature des correcteurs azotés (tourteau de soja, tourteau de colza, graine de protéagineux seule ou mélangée à des céréales) ou énergétiques (orge, blé, céréale mélangée à une graine de protéagineux), les besoins de production et la capacité d'ingestion des catégories de bovins diffèrent entre études. L'ajout d'un fourrage supplémentaire dans une même ration a des répercussions sur le temps de travail et sa répartition (récolte, gestion des silos, alimentation) ainsi que la gestion de l'avancement du front d'attaque dans le cas de l'ensilage (Raymond, 1982 ; Capitain et al., 2003).

TABEAU 5 : Performances de bovins recevant des rations sèches ou à base d'ensilage de maïs à volonté, incorporant divers fourrages riches en protéines. EM : ensilage de maïs, ES : ensilage de sorgho, MCPI : ensilage d'un mélange de céréales et protéagineux immatures, EH : ensilage d'herbe, BRE : enrubannage, luz. : luzerne, 1 : rationné, 2 : foin de prairie permanente, 3 : mélange triticale et pois.

	Catégorie animale	Ration de base	Ingestion totale (kg MS/j)	% ensilage de maïs (MS)	% autre fourrage (MS)	% céréales (MS)	% correcteur azoté (MS)	% paille (MS)	Croissance (g/j)	Durée d'essai (j)
Guillaume et al., 2014	Jeunes bovins allaitants	Sèche	8,8			67	17	13	1454	238
		Sèche & BRE luz.	9,0		28	71			1499	231
Le Pichon et Guillaume, 2012	Jeunes bovins allaitants	EM	8,9	64		23	14		1398	187
		ES	9,3		65	22	13		1355	202
Fuchey, 2013	Jeunes bovins allaitants	EM	11,9	59		16	16	7	1718	170
		ES	13,1		52	27	11	9	1492	184
		EM & ES	12,1	16	44	22	11	7	1618	168
Fossaert et Guy, 2020	Vaches de réforme laitières	EM 1	14,3	83			11	5	1400	98
		EM	16,1	82			13	5	1579	98
		EM & EH	14,7	45	36		7	3	1445	98
Brasseur et al., 2022	Vaches de réforme laitières	EM 1	13,7	78			19	2	1485	75
		EM & BRE	16,4	29	57	13			1235	78
Coutard et al., 2016	Vaches de réforme allaitantes	EM	12,6	47	24 2	11 3	19		1156	102
		MCPI	12,3		50 + 20 2	20 3	10		1154	99
Le Pichon et Guillaume, 2014	Boeufs laitiers (abattage 16 mois)	EM	7,9	63			18	18	882	121
		MCPI	9,1		84	13	2		916	121
	Génisses allaitantes (abattage 22 mois)	EM	7,5	71			20	9	873	121
		MCPI	8,8		82	12	5		930	121
Guillaume et Le Pichon, 2016	Génisses allaitantes (abattage 33 mois)	EM	9,6	86			11	2	1105	147
		EM & EH	11,6	33	67				1096	153

La réponse zootechnique diffère entre études selon le taux d'incorporation d'herbe dans la ration. Ceci provient notamment de la qualité de l'ensilage de maïs présent dans la ration de base, mais aussi de la qualité de l'herbe conservée qui le remplace (Keady, 2005). Puisque la teneur en MAT de l'herbe est généralement supérieure à celle du maïs ensilage, il est conseillé de **récolter des fourrages de bonne valeur énergétique (supérieur à 0,85 UFV/kg MS) pour assurer des performances élevées** (Férard et al., 2015, 2016b) et réduire davantage l'utilisation de correcteur azoté.

4 Mode de conservation des fourrages

4.1 Impact de la conservation sur la qualité du fourrage

La conservation de l'herbe fraîche affecte les composantes chimiques et la valeur alimentaire du fourrage, mais des différences existent selon le mode utilisé (Le Gall et al., 1993 ; Peccate et Dozias, 1998 ; Baumont et al., 2011, 2016). Pour chaque mode de conservation, une analyse du fourrage à la récolte permet de caler les rations avant leur utilisation ultérieure et peut être complétée par une analyse chimique (et fermentaire pour les fourrages fermentés) sur le fourrage conservé pour affiner le résultat.

Les fourrages laissés au sol **entre la fauche et la conservation**, subissent la **respiration** cellulaire. Cette **durée est plus ou moins longue selon la rapidité de dessiccation et le mode de conservation visé** (ensilage préfané, enrubannage, foin). Ce processus consomme des glucides solubles et augmente la teneur en parois (NDF). La digestibilité est réduite, ainsi que la valeur UF. **La teneur en MAT baisse en raison de la perte de feuilles pendant la mécanisation. Les légumineuses sont davantage affectées par ce processus** puisque leurs feuilles sèchent plus vite que celles des graminées et du faible lien entre tige et feuille. Ces **conséquences sont d'autant plus importantes sur le foin** que les fourrages fermentés dont la teneur en MS doit dépasser 85% pour ne pas subir d'échauffement. Pour une même teneur en NDF que l'herbe fraîche, **l'ingestibilité du foin est supérieure aux fourrages fermentés** grâce à sa teneur en eau réduite. Une récolte précoce sous cette forme en début d'année est davantage risquée, en raison des conditions météorologiques. Les élevages disposant d'un séchage en grange (vrac ou bottes) peuvent toutefois s'extraiter de ces conditions. Ce mode de récolte est le plus respectueux du fourrage, notamment des feuilles, et promet une qualité du foin plus proche de celle du fourrage vert.

La **fermentation** intervient lors de la **conservation anaérobie** des aliments (ensilage direct, préfané et enrubannage). Pendant ce processus, des acides gras volatils (AGV) sont formés à partir des glucides solubles de la plante et dans une moindre mesure par les hémicelluloses. **La digestibilité et la valeur UF ne sont pas affectés, mais l'ingestibilité est réduite à cause de l'effet rassasiant des AGV.** La quantité de MAT reste stable, mais la protéolyse réduit la teneur en protéines au profit de l'azote soluble. Une augmentation de la teneur en azote soluble de 10 points conduit à une plus forte dégradabilité ruminale de l'azote (+ 5 pts) soit une **baisse de la valeur protéique de l'ordre de 9 g PDIN et 19 g PDIE par kg de MS**. Ce phénomène est limité avec des plantes contenant des métabolites secondaires, comme la polyphénol oxydase (trèfle violet) ou les tanins condensés (sainfoin...). La forte teneur en protéines augmente le pouvoir tampon du fourrage conservé, limitant ainsi la baisse du pH et la qualité de conservation du fourrage fermenté. La conservation des légumineuses par la voie fermentaire est plus délicate que pour les graminées, due à une plus faible teneur en sucres solubles et un pouvoir tampon supérieur.

4.2 Bonnes pratiques de récolte et de conservation pour préserver la qualité du fourrage

Les légumineuses fourragères sont particulièrement sensibles aux pertes au cours de processus de récolte et de conservation (pour la voie humide). Certaines pratiques doivent être mises en œuvre au cours du chantier de récolte afin de minimiser ces pertes.

Une **hauteur de fauche minimum**, de l'ordre de **8 cm**, est à privilégier afin de favoriser la circulation d'air sous les andains pour **accélérer le processus de séchage**. Une fauche rase implique un risque d'incorporation de terres (risque de contamination par des spores butyriques), une moindre digestibilité du fourrage et pourrait pénaliser le redémarrage du couvert. L'intervention doit être réalisée **après la disparition de la rosée**. Les **réglages de la faucheuse** doivent **favoriser une surface d'exposition maximale** (système d'éparpillement, écartement des volets) et **être adaptés selon la sensibilité du fourrage aux pertes mécaniques pour les faucheuses conditionneuses** notamment (vitesse du conditionneur, serrage de la tôle). Plus la fauche est « agressive » pour le fourrage, plus les pertes seront importantes lors des interventions ultérieures. Le choix et les réglages des outils de fanage, andainage et de pressage ont également un effet sur les pertes au champ (Uijtewaal et al., 2016).

Le **préfanage est préconisé** et doit viser une dessiccation rapide à **30-35% de MS minimum** pour une **récolte en ensilage**. Les pertes sous forme de gaz et de jus sont limitées, la protéolyse est également réduite. Le bénéfice engendré sur la valeur azotée et l'ingestibilité sont censés être supérieurs à la perte de valeur

énergétique. La plus forte teneur en MS devra nécessiter un tassement de l'ensilage suffisant pour bien conserver le fourrage (Baumont et al., 2016). Pour les bottes enrubannées, une hausse de la teneur en MS va de pair avec un taux de moisissures croissant en périphérie de la botte : de 1,7% (43 % MS) à 7,8% (67% MS) d'après Uijtewaald et al. (2016). Pour le foin, le **fanage** est à favoriser **sur fourrage encore humide** (le 1^{er} jour) pour accélérer la dessiccation et limiter les pertes de feuilles. Le **nombre de passages doit ensuite être restreint**, surtout sur fourrage sec et récolté à un stade tardif.

Les **additifs de conservation pour ensilage** constituent une voie complémentaire afin de limiter les pertes et **d'optimiser la qualité de conservation** des fourrages humides notamment. Ils ont deux utilités principales : accélérer l'acidification et maintenir la stabilité aérobie du fourrage. L'accélération de l'acidification préserve la quantité et la qualité du fourrage. Cette fonction est assurée par les bactéries lactiques homofermentaires, avec ou sans enzymes, et les acides organiques. Le fort pouvoir tampon des légumineuses (teneurs en cendres et en MAT élevées, faible teneur en sucres) limite l'acidification. L'ajout d'additifs de conservation en complément du préfanage est pertinent. De nombreuses études ont également montré l'intérêt technique de ces additifs sur graminées pour limiter les pertes de matière sèche, de l'ordre de 3,9 pts avec des bactéries lactiques homofermentaires (Brocard et al., 2015). A l'ouverture du silo, le maintien de la stabilité aérobie est assuré par les bactéries hétérofermentaires et l'acide propionique. Leur action retarde les pertes par échauffement de valeur énergétique et d'appétence au niveau du front d'attaque. Notons que la vitesse d'avancement dans le silo a un effet majeur sur les pertes au désilage (Muck, 2011). Les effets de l'inoculation des ensilages par des bactéries lactiques homofermentaires sur les performances de production laitière sont neutres à légèrement positifs. Dans une méta-analyse réalisée à partir de 38 essais, Oliveira et al. (2017) ont mis en avant un **gain de production laitière de 1,5 % permis par l'inoculation des ensilages**, couplé à une tendance à l'augmentation de l'ingestion et des taux protéique et butyreux du lait. L'inoculation réduit la production de certains produits de fermentation (NH₃, acide butyrique, amines) ayant des effets négatifs sur l'ingestion et traduisant une moins bonne conservation de la protéine.

4.3 Effet du mode de conservation sur les performances des bovins

Peu d'études traitent de l'effet du mode de conservation toute chose égale par ailleurs. En pratique, la récolte de fourrage sous forme d'ensilage, enrubannage ou foin est généralement réalisée à des stades de maturité différents. Dans ce cas, les performances animales et le bilan alimentaire sont biaisés par ce paramètre.

4.3.1 Effet du mode de conservation du fourrage sur les performances des vaches laitières

Lorsque les rations sont équilibrées en énergie et en protéines, **l'effet strict du mode de conservation (foin vs ensilage) est faible** (Tableau 6). La conservation des graminées ou de la luzerne sous forme de foin permet généralement d'augmenter l'ingestion de la ration par rapport à l'ensilage. Coulon et al. (1997) ont comparé une récolte de prairie permanente sous forme de foin ou d'ensilage (27 %MS avec acide formique). Le régime à base de foin (69 % de la ration) a entraîné une ingestion supérieure de 1 kg MS/j, sans effet sur la production de matières utiles (baisse du lait brut associée à une hausse des taux par effet de dilution) par rapport au régime à base d'ensilage.

Le même effet sur l'ingestion est observé avec une récolte de la luzerne en foin par rapport à un ensilage dans des rations contenant 45 à 69 % de ce fourrage. L'impact sur la production laitière est neutre à légèrement positif, le taux protéique en hausse et le taux butyreux en baisse (Beauchemin et al., 1997, Broderick, 1995). Deux études de Nelson et Satter (1990 et 1992) montrent à l'inverse une baisse de l'ingestion et de la production laitière avec le foin de luzerne par rapport à l'ensilage, quel que soit le stade de récolte (début bourgeonnement à fin floraison).

La variabilité des résultats observés entre essais peut être due à des différences de présentation physique des fourrages, de leur taux d'incorporation dans la ration, du stade de récolte et du type d'animal entre les essais.

TABLEAU 6 : **Effets du mode de conservation du fourrage sur l'ingestion et les performances de production des vaches laitières.** Ens. : ensilage, PP : prairie permanente, TP : taux protéique, TB : taux butyreux, * : écart significatif au risque alpha de 5%

Référence	Type de fourrage	Mode de conservation (Témoin = foin)	% herbe (MS)	Ecart au témoin (foin)			
				Ingestion (kg MS/j)	Lait brut (kg/j)	TP (g/kg)	TB (g/kg)
Beauchemin et al., 1997	Luzerne	Ensilage	45%	-2,8*	-0,9	-0,5*	+4,4
Broderick, 1995	Luzerne	Ensilage	69%	-0,8*	+0,2	-0,6*	+2,0*
			66%	-2,6*	-1,9*	-1,1*	+1,1
Coulon et al., 1997	PP	Ensilage	69%	-1,0*	+0,7*	-1,0*	-1,1*

4.3.2 Effet du mode de conservation du fourrage sur les performances des bovins en croissance ou à l'engraissement

Pour une teneur en herbe conservée très proche entre chaque mode de conservation (Tableau 7), l'ingestion totale de MS de la ration est généralement augmentée avec un foin par rapport à un ensilage. Les essais souhaitant atteindre une croissance identique entre modes de conservation ont augmenté d'environ +3 points le correcteur azoté énergétique dans la ration avec le foin (ferme expérimentale de Jalogny, 2016). Ceux qui ont fixé la composition de la ration pour laisser s'exprimer le potentiel des animaux obtiennent des résultats divergents sur la croissance (Jacobs et Zorilla-Rios, 1994 ; Beck et al., 2009). Au sein de rations riches en concentrés, il ne peut être recommandé un mode de conservation particulier, en raison des divergences de résultats sur les performances zootechniques (Beck et al., 2009 ; ferme expérimentale de Jalogny, 2016). **L'absence de généralité entre mode de conservation provient des différences de qualité du fourrage distribué.** Pour une qualité de foin inférieure, il est parfois observé de meilleures performances avec ce fourrage (Seoane et al., 1993). **Le mode de conservation ne semble donc pas un critère primordial en bovin allaitant pour améliorer les performances ou l'autonomie alimentaire d'une ration.** Néanmoins, pour un 1^{er} cycle de végétation, le besoin en surface sera supérieur avec un ensilage d'herbe en raison d'un rendement réduit lors d'une fauche plus précoce. Selon les conditions de repousse, ce mode de conservation permet toutefois de multiplier le nombre de coupes sur une même surface, sans pour autant améliorer le rendement (Ergon et al., 2016 ; Brocard et al., 2019). Le temps consacré à chaque récolte est néanmoins augmenté, de même que les dépenses associées à la conservation par voie fermentaire (Le Gall et al., 1993 ; PEREL).

TABLEAU 7 : Effets du mode de conservation du fourrage sur les performances et la composition de la ration de bovins à l'engraissement. BRE : enrubannage, ens. : ensilage, gra. : graminées, PP : prairie permanente, épi. : épiaison, flo. : floraison.

	Catégorie animale	Mode de conservation	Type de fourrage	Stade de maturité	Ingestion totale (kg MS/j)	% fourrage conservé (MS)	% céréales (MS)	% correcteur azoté (MS)	% paille (MS)	Croissance (g/j)	Durée d'essai (j)
Tufan et al., 2016	Jeunes bovins et génisses laitières	Foin	Gra.	-	5,2	24	42	34		933	63
		Ens.	Gra.	-	5,6	29	39	32		813	63
Seoane et al., 1993	Bouvillons	Foin	PP	-	6,3	93	3	3		510	182
		Ens.	PP	-	6,1	92	3	4		455	182
Beck et al., 2009	Bouvillons et génisses allaitants	Foin	Blé	Début épiaison - pâteux	8,1	20	36	42		1190	63
		Ens.	Blé		7,8	20	36	42		1206	63
	Bouvillons allaitants	Foin	Blé		7,5	40	26	32		1776	49
		Ens.	Blé		6,6	40	27	31		1663	49
Jacobs et Zorilla-Rios, 1994	Bouvillons allaitants	Foin	PP	Epi.	6,6	57	29	13		613	103
		Ens.	PP	Début épi.	7,2	61	26	12		1033	89
Ferme expérimentale de Jalogny, 2016	Vaches de réforme allaitantes	Foin	PP	Flo.	16,1	44	50	6		1170	105
		BRE	PP	Début flo.	16,1	45	47	4	3	1170	105
Coutard et al., 2016	Vaches de réforme allaitantes	Foin	PP	-	12,2	67	25*	8		863	98
		Foin & Ens.	PP	-	11,3	23 42	27*	8		886	100

Conclusion

L'utilisation de légumineuses fourragères seules ou associées à une graminée représente un atout pour **réduire le correcteur azoté** et maintenir, voire améliorer, les performances zootechniques chez des bovins ayant des besoins élevés. Dans ce cas, un apport supplémentaire en énergie peut toutefois être nécessaire selon la qualité de l'herbe. Pour des bovins à plus faibles besoins ayant une forte capacité d'ingestion, ce remplacement affecte peu les performances et la composition de la ration.

Avancer le stade de maturité à la récolte constitue un levier pertinent pour les animaux à forts besoins et simple de mise en œuvre en élevage. En effet, cela assure une meilleure qualité du fourrage, associée à un maintien ou un gain de performances zootechniques tout en **réduisant l'utilisation de concentrés énergétique et protéique**. Pour les bovins ayant des besoins élevés, une récolte autour du stade montaison à début épiaison pour les graminées et début bourgeonnement à bourgeonnement pour les légumineuses peut être recommandée. En raison d'une productivité réduite aux stades précoces, un compromis est néanmoins à trouver entre qualité et quantité du fourrage récolté afin d'équilibrer le bilan fourrager de l'exploitation. Les fourrages les plus qualitatifs pourront être dirigés préférentiellement vers les bovins à haut niveau de production (vaches laitières, jeunes bovins en croissance). Dans le cas de bovins à faibles besoins, ou si la part d'herbe est limitée dans la ration, les stades début épiaison pour les graminées ou bourgeonnement pour les légumineuses semblent optimaux. **Le mode de conservation affectant peu l'autonomie protéique** et les performances zootechniques (réponse aléatoire entre les études), le choix se raisonnera selon les contraintes climatiques, matérielles et économiques.

Chez les bovins à l'engraissement et les vaches laitières, **l'introduction d'un fourrage riche en protéines au sein de rations sèches ou à base d'ensilage de maïs améliore significativement le niveau d'autonomie protéique** dans la majorité des situations. Dans les rations sèches, une économie de céréales en plus de celle de correcteur azoté est envisageable tout en maintenant les croissances lorsque la part d'herbe conservée dans le régime est inférieure à 35 %. Dans les rations à base d'ensilage de maïs, pour un même niveau de performances, l'efficacité alimentaire est réduite avec l'herbe conservée chez les jeunes bovins. La substitution du maïs fourrage par l'herbe conservée doit alors être partielle, inférieure à 30% MS de la ration, avec un fourrage de bonne qualité (>0,85 UFV/kg MS). Le besoin en céréales est accru pour compenser la moindre densité énergétique de l'herbe. Chez les vaches laitières, l'incorporation d'herbe conservée de qualité en substitution de 25 à 50 % du maïs fourrage permet une réduction drastique du correcteur azoté, à niveau de performances équivalent, à condition d'adapter la complémentation énergétique de la ration. Pour remplacer la majeure partie ou la totalité de l'ensilage de maïs, tout en maintenant un même niveau de performances, le fourrage riche en protéines doit être d'excellente qualité, bien conservé et complété avec un aliment plus dense en énergie que l'ensilage de maïs (céréales, maïs humide, etc.).

L'atteinte d'un niveau élevé d'autonomie alimentaire et protéique par la voie des fourrages doit être raisonnée en lien avec l'efficacité économique du système, le temps de travail, le besoin en surface, etc. En complément de la production de fourrages riches en protéines conservés, d'autres leviers sont à disposition des éleveurs pour limiter leur dépendance aux correcteurs azotés achetés, à travers le pâturage ou l'utilisation de concentrés protéiques auto-produits.

Références Bibliographiques

- AGRESTE (2021). "Statistique agricole annuelle 2020 – chiffres définitifs". 14, 62.
- AFPF (2018). "Guide technique des méteils", 12. Disponible sur <https://afpf-asso.fr/guide-technique-meteils>
- AKINS M.S., SHAVER R.D. (2014). "Effect of corn snaplage on lactation performance by dairy cows". *The Professional Animal Scientist*, 30, 86–92.
- ALSTRUP L., SØEGAARD K., WEISBJERG M.R. (2016). "Effects of maturity and harvest season of grass-clover silage and of forage-to-concentrate ratio on milk production of dairy cows". *Journal of Dairy Science*, 99, 328–340.
- ANDUEZA D., PICARD F., PRADEL P., THEODORIDOU K. (2019). "Feed value of barn-dried hays from permanent grassland: a comparison with fresh forage". *Agronomy*, 9, 273.
- ARVALIS (2022). "Méteils fourragers : de la production à la valorisation par les bovins". *Webinaire du 25/01/2022*. Disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=5K0-3xQ-Ta4>
- AUFRERE J., THEODORIDOU K., BAUMONT R. (2013). "Valeur agronomique et alimentaire du sainfoin". *Fourrages*, 213, 63–75.
- BAUMONT R., ARRIGO Y., NIDERKORN V. (2011). "Transformation des plantes au cours de leur conservation et conséquences sur leur valeur pour les ruminants". *Fourrages*, 205, 35–46.
- BAUMONT R., BASTIEN D., FERARD A., MAXIN G., NIDERKORN V. (2016). "Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants". *Fourrages*, 227, 171–180.
- BAUMONT R., DULPHY J.-P., SAUVANT D., TRAN G., MESCHY F., AUFRERE J., PEYRAUD J.-L., CHAMPCIAUX P. (2007). "Chapitre 9. Les tables de la valeur des aliments", In : *Alimentation des bovins, ovins et caprins : besoins des animaux, valeurs des aliments - Tables Inra 2007*. Editions Quae, Versailles Cedex, 181–275.
- BAUMONT R., TRAN G., CHAPOUTOT P., MAXIN G., SAUVANT D., HEUZE V., LEMOSQUET S., LAMADON A. (2018). "Tables INRA de la valeur des aliments utilisés en France et dans les régions tempérées", In : *Alimentation Des Ruminants*. Nozière, P., Sauvant D. and Delaby L., Versailles, France, 521–618.
- BEAUCHEMIN K.A., RODE L.M., ELIASON M.V. (1997). "Chewing activities and milk production of dairy cows fed alfalfa as hay, silage or dried cubes of hay or silage". *Journal of Dairy Science*, 80, 324–333.
- BEAUMONT, B., LEGARTO, J., CAP, G., (2015). "Valorisation par les vaches laitières d'ensilage de méteil en complément d'ensilage de maïs plante entière". *Renc. Rech. Ruminants*, 22, 61.
- BECK P.A., STEWART C.B., GRAY H.C., SMITH J.L., GUNTER S.A. (2009). "Effect of wheat forage maturity and preservation method on forage chemical composition and performance of growing calves fed mixed diets". *Journal of Animal Science*, 87, 4133–4142.

- BOSSIS N., JOST J., PAVIE J., MINETTE S., BOUDET S., DUMONTIER A. (2016). "Approches économiques du développement des légumineuses fourragères dans les exploitations françaises". *Fourrages*, 227, 207-214.
- BOOB M., ELSAESSER M., THUMM U., HARTUNG J., LEWANDOWSKI I. (2019). "Harvest Time Determines Quality and Usability of Biomass from Lowland Hay Meadows". *Agriculture*, 9, 198.
- BRASSEUR M.A., GUY F., FOSSAERT C. (2022). "Finition de vaches de réforme laitières". Institut de l'Elevage, Ferme expérimentale des Bouviers - Mauron, Ferme expérimentale des Bouviers – Mauron, 2.
- BROCARD B. (2015). "Quels additifs de conservation pour les graminées". *Arvalis Institut du Végétal*, 33.
- BROCARD V., CLOET E., TRANVOIZ E., ROUILLE B. (2019). "Ryegrass-red clover mixtures: impact of harvest stage on yield and nutritional value", In : *Grassland Science in Europe*, Zurich - Suisse, 213.
- BRODERICK G.A. (1995). "Performance of lactating dairy cows fed either alfalfa silage or alfalfa hay as the sole forage". *Journal of Dairy Science*, 78, 320-329.
- BRUNSCHWIG P., LAMY J.M. (2008). "Mélanges céréales-légumineuses immatures et sorghos ensilés, des alternatives fourragères pour vaches laitières en situation séchante". *Renc. Rech. Ruminants*, 15, 205-208.
- BRUNSCHWIG P., LAMY J.M., DAVID D., CHENAIS F. (2008). "Ensilage ou foin de RGH-trèfle violet et ensilage de maïs pour vaches laitières en milieu de lactation". *Renc. Rech. Ruminants*, 15, 306.
- CABEZAS-GARCIA E.H., KRIZSAN S.J., SHINGFIELD K.J., HUHTANEN P. (2017). "Effects of replacement of late-harvested grass silage and barley with early-harvested silage on milk production and methane emissions". *Journal of Dairy Science*, 100, 5228-5240.
- CAPITAIN M., FARRUGIA A., PACCARD P. (2003). "Vers une amélioration de l'autonomie en protéines des élevages bovins laitiers et aspects environnementaux". *Fourrages*, 174, 259-269.
- COUTARD J.P., FORTIN J., JOUANNIN E. (2016). "Finition des vaches allaitantes Limousines conduites en agriculture biologique". *Renc. Rech. Ruminants*, 23, 23-26.
- COULON J.B., PRADEL P., VERDIER I. (1997). "Effect of forage conservation (hay or silage) on chemical composition milk". *Annales de zootechnie*, 46, 21-26.
- CHAUVEAU H., HODE D., BOISNEAU A. (2022). "Associer herbe ensilée de qualité et maïs épi dans la ration des vaches laitières : un levier efficace pour améliorer l'autonomie protéique des élevages". *Renc. Rech. Ruminants*, 26.
- CHAUVEAU H., ULTTEWAAL A. (2020). "Sorghos fourragers monocoupes : différents types pour différentes valorisations". *Journées AFPP « Produire des fourrages demain »*, 25-26 mars 2020.
- CHENAIS F., LE GALL A., JULIEN J.P. (1993). "Intérêt de l'introduction d'ensilage de légumineuses dans les rations à base d'ensilage de maïs en production laitière". *Fourrages*, 134, 259-265.
- DAVEAU B., FORTIN J. (2022). "La diversité des associations céréales protéagineux récoltées en fourrage : un levier d'adaptation au service de multiples systèmes fourragers". *Renc. Rech. Ruminants*, 26.
- DELABY L., PAVIE J., MCCARTHY B., COMERON E.A., PEYRAUD J.L. (2016). "Les légumineuses fourragères, indispensables à l'élevage de demain". *Fourrages*, 226, 77-86.
- DELABY L., PEYRAUD J.L. (2009). "Valoriser les fourrages de l'exploitation pour produire du lait". *Fourrages*, 198, 191-210.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J.P., MICHALET-DOREAU B., SAUVANT D. (1989). "Measurement of the nutritive value of feeds". In : *Jarrige R. (eds) Ruminant nutrition : Recommended allowances & feed tables*, Paris, France : John Libbey Eurotext, 193-212.
- DEROCHE B., LE MORVAN A., WYSS U., AOUN M., BAUMONT R. (2022). "Prediction of hay digestibility from its assessment on the fresh forage and drying time". *29th EGF general meeting 26-30 June 2022, Caen, France*.
- DEWHURST R.J., DAVIES L.J., KIM E.J. (2010). "Effects of mixtures of red clover and maize silages on the partitioning of dietary nitrogen between milk and urine by dairy cows". *Animal*, 4, 732-738.
- DEWHURST R.J., FISHER W.J., TWEED J.K.S., 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.
- DOUHAY J., BROUARD S. (2021). "Les conduites alimentaires en finition de l'offre française de viandes de gros bovins". *Interbev et Idele*, 99.
- DOUHAY J., RENON J. (2019). "Compte-rendu zootechnique des 3 séries d'essais EFFI-J à la ferme expérimentale de Jalogny - Engraissement de jeunes bovins à partir de rations contrastées en amidon (ensilage de maïs vs ensilage d'herbe) dans le cadre du projet EFFI-J". *Idele et Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire*, 40.
- FAVERDIN P., DELAGARDE R., DELABY L., MESCHY F. (2007). "Alimentation des vaches laitières". In : *Alimentation des bovins, ovins et caprins : besoins des animaux, valeurs des aliments - tables Inra 2007*. Editions Quae, Versailles Cedex, 23-55.
- FÉRARD A. (2016). "Sorghum silage and its complementarity with maize as feed dairy and beef cattle". *1st European Sorghum Congress. 3 November 2016, Bucarest*.
- FÉRARD A., CAREL Y., KARDACZ P., PEYRAT J. (2016a). "Technical and economic analysis of using ensiled or wrapped grass for young bulls finishing". 67th EAAP Annual Meeting 29 August - 2 September 2016, Belfast, United Kingdom.
- FÉRARD A., COUFFIGNAL M., CAREL Y., KARDACZ P. (2015). "Analyse technique et économique de l'utilisation d'enrubannage ou d'ensilage de graminées et de légumineuses pour la finition des bovins". *Renc. Rech. Ruminants*, 22, 245-248.
- FÉRARD A., MESLIER E., BOISNEAU A., BRICE C. (2018). "Associer maïs épi et luzerne dans la ration des vaches pour produire du lait avec peu voire zéro concentré protéique". *Renc. Rech. Ruminants*, 24, 200.
- FÉRARD A., MESLIER E., MIGNE L. (2016b). "Effets du niveau d'introduction d'enrubannage de luzerne sur les performances des vaches laitières". In : *Colloque Légumineuses*, Dijon - France.
- FERME EXPERIMENTALE DES BORDES (2013). "L'enrubannage de luzerne et de fétuque élevée, des solutions pour engraisser des génisses limousines rajeunies en système herbager", 8.
- BUTEAU A. (2023). "Engraissement de génisses viande rajeunies avec de l'herbe conservée". *Arvalis Institut du Végétal, Ferme expérimentale des Bordes*, 2. Disponible via https://afpf-asso.fr/_objects/tao_medias/file/rv-compte-rendu-cap-proteines-genisses-primherbe-6985.pdf
- ERGON A., KIRWAN L., BLEKEN M.A., SKJELVÅG A.O., COLLINS R.P., ROGNLI O.A. (2016). "Species interactions in a grassland mixture under low nitrogen fertilization and two cutting frequencies: 1. dry-matter yield and dynamics of species composition", *Grass and Forage Science*, 71, 667-682.
- FERME EXPERIMENTALE DE JALOGNY (2016). "Journée technique « des pratiques innovantes pour alourdir et engraisser »". Avril 2016, Disponible sur [https://bourgognefranche-comte.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Bourgogne-Franche-](https://bourgognefranche-comte.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Bourgogne-Franche-Comte-2016-04-20-JT-Engraissement-herbe.pdf)

- FERME EXPERIMENTALE DE JALOGNY (2019). "Conduite de génisses d'élevage de moins d'un an à partir d'enrubannage de dérobées dans le cadre du programme PAPSAAAL : « Plus d'Autonomie Protéique et de Sécurité Alimentaire en systèmes Allaitants et Laitiers »", 1-12.
- FERME EXPERIMENTALE DE JALOGNY (2020). "Conduite de génisses d'élevage de moins d'un an à partir d'enrubannage de dérobées dans le cadre du programme PAPSAAAL : « Plus d'Autonomie Protéique et de Sécurité Alimentaire en systèmes Allaitants et Laitiers »", 1-12.
- FOSSAERT C., GUY F. (2020). "Finition de vaches de réforme laitière - Engraisement de vaches de réforme Montbéliardes à l'auge", *FarmXP*, 2.
- FUCHEY H. (2013). "Mise au point de nouveaux modes de production de viande bovine à partir de mâles du troupeau allaitant". *Agrocampus Ouest*, 47.
- GARCIA F., AGABRIEL J., MICOL D. (2007). "Alimentation des bovins en croissance et à l'engrais". In : *Alimentation des bovins, ovins et caprins : besoins des animaux, valeurs des aliments - tables Inra 2007*. Editions Quae, Versailles Cedex, 89-120.
- GUILLAUME A., LE PICHON D. (2016). "Du RGI dérobé en complément du maïs ensilage pour la finition des génisses charolaises". *Renc. Rech. Ruminants*, 23, 55.
- GUILLAUME A., LE PICHON D., BASTIEN D. (2014). "Luzerne enrubannée en complément du blé pour l'engraissement des jeunes bovins". *Renc. Rech. Ruminants*, 21, 116.
- HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU A., VANHATALO A., TOIVONEN V., HEIKKILÄ T., LEE M.R.F., SHINGFIELD K.J. (2014). "Effect of replacing grass silage with red clover silage on nutrient digestion, nitrogen metabolism, and milk fat composition in lactating cows fed diets containing a 60:40 forage-to-concentrate ratio". *Journal of Dairy Science*, 97, 3761-3776.
- HART K.J., HUNTINGTON J.A., WILKINSON R.G., BARTRAM C.G., SINCLAIR L.A. (2015). "The influence of grass silage-to-maize silage ratio and concentrate composition on methane emissions, performance and milk composition of dairy cows". *Animal*, 9, 983-991.
- HERREMANS S., FERARD A., WYSS U., MAXIN G. (2018). "Les cultures dérobées : des fourrages de qualité nutritive intéressante". *Fourrages*, 233, 39-46.
- HOFFMAN P.C., COMBS D.K., CASLER M.D. (1998). "Performance of lactating dairy cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage". *Journal of Dairy Science*, 81, 162-168.
- JACOBS J., ZORRILLA-RIOS J. (1994). "Silage or hay based diets supplemented with different levels of grain for fattening cattle". *Aust. J. Exp. Agric.* 34, 1093-1098.
- JURQUET J., DECHAUX T., ROCHETTE Y., GELE M., GILLIER M., PREZELIN M., ROINE D., FERLAY A., MARTIN C. (2020). "Une ration de terrain est-elle compatible avec de faibles niveaux d'émissions de méthane entérique des vaches laitières au cours des 6 premiers mois de lactation ?". *Renc. Rech. Ruminants*, 25, 110-114.
- KEDDY T.W.J. (2005). "Ensiled maize and whole crop wheat forages for beef and dairy cattle: effects on animal performance". In : Park, R.S. & Stronge, M.D. (eds.). *Silage production and utilization technology. Proceedings of the XIVth International Silage Conference, Belfast, Northern Ireland*. 65-82
- KEDDY T.W.J., HANRAHAN S., MARLEY C., SCOLLAN N.D. (2013). "Production and utilization of ensiled forages by beef cattle, dairy cows, pregnant ewes and finishing lambs - A review". *Agricultural and Food Science*. 22, 70-92.
- KLIEM K.E., MORGAN R., HUMPHRIES D.J., SHINGFIELD K.J., GIVENS D.I. (2008). "Effect of replacing grass silage with maize silage in the diet on bovine milk fatty acid composition". *Animal*, 2, 1850-1858.
- LAGROST Y. (2022). "Quels méteils pour quels objectifs ?". *Journée technique des Bordes : « méteils fourragers : de la production à la valorisation par les bovins*. 25 janvier 2022. Disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=5K0-3xQ-Ta4>
- LEFER V., DOGLIEZ E., JURQUET J., BELOT P.E. (2022). "L'autonomie protéique des systèmes bovins lait analysée au travers des constats d'alimentation de Res'alim". *Salon de l'herbe. 1^{er} juin 2022*. Disponible sur <https://www.eliance.fr/documents/41>
- LE GALL A., CORROT G., CAMPAGNAUD M., GARRIGUE G. (1993). "L'enrubannage : une technique pour optimiser la récolte de la luzerne". *Fourrages*, 134, 243-249.
- LE PICHON D., GUILLAUME A. (2012). "Les sorghos sucriers BMR pour l'engraissement des jeunes bovins". *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 190.
- LE PICHON D., GUILLAUME A. (2014). "Performances des bovins en croissance alimentés avec un mélange céréales protéagineux immatures ensilé". *Renc. Rech. Ruminants*, 21, 119.
- LORGEU J., BATTEGAY S., PELLETIER P. (2007). "Adaptations à la sécheresse par les choix techniques de conduite des cultures pour les prairies et le maïs". *Fourrages*, 190, 207-221.
- LOUARN G., FAVERJON L., BIJELIC Z., JULIER B. (2016). "Dynamique de l'azote dans les associations graminées - légumineuses : quels leviers pour valoriser l'azote fixé ?". *Fourrages*, 226, 135-142.
- MAMET V., BERTHET R., OLIER C. (2018). "Assurer 30 kg de lait par jour avec une ration économique à base de méteil. Témoignage du GAEC de La Grange (Ain)". *Fourrages*, 233, 35-37.
- MESLIER E., FERARD A., CROCG G., PROTIN P.V., LABREUCHE J. (2014). "Faire face à un déficit fourrager en valorisant des couverts végétaux de bonne valeur nutritive". *Fourrages*, 218, 181-184.
- MICHAUD A., ANDUEZA D., PICARD F., PLANTUREUX S., BAUMONT R. (2012). "Seasonal dynamics of biomass production and herbage quality of three grasslands with contrasting functional compositions: Production and quality of permanent grasslands". *Grass and Forage Science*, 67, 64-76.
- 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". *The Journal of Agricultural Science*, 153, 891-906.
- MOORBY J.M., LEE M.R.F., DAVIES D.R., KIM E.J., NUTE G.R., ELLIS N.M., SCOLLAN N.D. (2009). "Assessment of dietary ratios of red clover and grass silages on milk production and milk quality in dairy cows". *Journal of Dairy Science*, 92, 1148-1160.
- MUCK R.E. (2011). "The art and science of making silage". *Western alfalfa & forage conference*, Las Vegas, NV, 11-13.
- MULAT B., YONG H. (2022). "Effect of maturity, silage and hay of various feeds on lactating cows feed intake and productivity; A meta-analysis". *J Dairy Vet Anim Res.*, 11, 1-11.
- MULLIGAN F.J., QUIRKE J., RATH M., CAFFREY P.J., O'MARA F.P. (2002). "Intake, digestibility, milk production and kinetics of digestion and passage for diets based on maize or grass silage fed to late lactation dairy cows". *Livestock Production Science*, 74, 113-124.
- NELSON W.F., SATTER L.D. (1990). "Effect of stage of maturity and method of preservation of alfalfa on production by lactating dairy cows". *Journal of Dairy Science*, 73, 1800-1811.

- NELSON W.F., SATTER L.D. (1992). "Impact of alfalfa maturity and preservation method on milk production by cows in early lactation". *Journal of Dairy Science*, 75, 1562–1570.
- NIDERKORN V., BAUMONT R. (2009). "Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants". *Animal*, 3, 951–960.
- OBSERVATOIRE DE L'ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES FRANÇAISES (2019). "Que trouve-t-on au menu des vaches laitières françaises ?". *Eliance*. 4. Disponible sur <https://www.eliance.fr/documents/39>
- OLIVEIRA A.S., WEINBERG Z.G., OGUNADE I.M., CERVANTES A.A.P., ARRIOLA K.G., JIANG Y., KIM D., LI X., GONÇALVES M.C.M., VYAS D., ADESOGAN A.T. (2017). "Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows". *Journal of Dairy Science*, 100, 4587–4603.
- O'MARA F.P., FITZGERALD J.J., MURPHY J.J., RATH M. (1998). "The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows". *Livestock Production Science*, 55, 79–87.
- PECCATTE J.R., DOZIAS D. (1996). "Conservation et valeur alimentaire de la luzerne pour les ruminants". *Fourrages*, 155, 403–407.
- PEREL (PERENNISER L'ÉLEVAGE PAR L'AUTONOMIE FOURRAGÈRE). Coûts des fourrages. Disponible sur <http://www.perel.autonomie-fourragere-des-elevages.fr/coûts-des-fourrages/>
- PLANCQUAERT P. (1966). L'exploitation de la luzerne. *Fourrages*, 26, 34–48.
- PROTIN P.V., PELLETIER P., GASTAL F., SURAULT F., JULIER B., PIERRE P., STRAËBLER M. (2014). "Les prairies multispèces, un levier pour des systèmes fourragers performants". *Fourrages*, 218, 167–176.
- PROTIN P.V. (2016). "Alimentation des vaches laitières : valoriser la complémentarité maïs fourrage et luzerne". *Colloque « Maïs fourrage et bovins : nouvelles approches de la valeur alimentaire et de sa valorisation », 17 novembre 2016, Paris*.
- RANDBY Å.T., AASS L., HAUG A. (2021). "Fatty acid profile and intramuscular fat concentration of *Musculus longissimus thoracis* in bulls fed grass silage harvested at one of three maturity stages, either with or without concentrate supplementation". *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 70, 78–90.
- RAYMOND F. (1982). "Utilisation des ensilages de luzerne et de trèfle violet pour la croissance et l'engraissement". *Fourrages*, 90, 203–224.
- RINNE M., HUHTANEN P., JAAKKOLA S. (2002). "Digestive processes of dairy cows fed silages harvested at four stages of grass maturity". *Journal of Animal Science*, 80, 1986–1998.
- ROUILLE B., LAMY J.M., BRUNSCHWIG P. (2010). "Trois formes de consommation de la luzerne pour les vaches laitières". *Renc. Rech. Ruminants*, 17, 329.
- ROUILLE B., PREZELIN M., ROINE D., VAILLANT B., CHANVALLON A., ROUSSEL P., JURQUET J., BRUN T., LAMY J.M. (2015). "Ration simple versus ration complexe : quels impacts sur les performances de production, de santé et de reproduction chez la vache laitière ?". *Renc. Rech. Ruminants*, 22, 233–236.
- SEOANE J.R., CHRISTEN A.-M., AMYOT A., PETIT H.V. (1993). "Performance of growing steers fed either hay or silage supplemented with canola or fish meal". *Can. J. Anim. Sci.*, 73, 57–65.
- THEAU J.P., ZEROUROU A. (2008). "Herb'âge, une méthode de calcul des sommes de températures pour la gestion des prairies". In : *Les cahiers d'Orphée. Outils pour la Gestion des Prairies Permanentes*. Paris, France, 91–102.
- TRANVOIZ E., BROCARD V. (2020a). "Ensilage d'herbe précoce : toujours gagnant au niveau des performances laitières et de l'économie". *FarmXP*, 2.
- TRANVOIZ E., BROCARD V. (2020b). "Ensilage d'herbe précoce en agrobiologie : plus de lait, plus d'€ mais plus de besoin en stock". *FarmXP*, 2.
- TUFAN T., ARSLAN C., ÖNK K., SARI M., TILKI M. (2016). "Effects of feeding by hay, grass silage and corn silage on growth performance, rumen fluid and blood serum parameters in beef cattle". *Revue Méd. Vét.* 167, 99–105.
- UIJTTEWAAL A., BATTEGAY S. (2015). "Impacts technico-économiques de l'introduction de la luzerne dans un système polyculture-élevage bovin lait des Pays de la Loire". *Renc. Rech. Ruminants*, 22, 306.
- UIJTTEWAAL A., CHAPUIS S., CROCQ G., LEPEE P. (2016). "Quoi de neuf en matière de récolte et conservation des légumineuses fourragères ?". *Fourrages*, 227, 157–166.
- VANHATALO A., KUOPPALA K., AHVENJÄRVI S., RINNE M. (2009). "Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 1. Nitrogen metabolism and supply of amino acids". *Journal of Dairy Science*, 92, 5620–5633.