

Ingestion élevée d'un mélange graminées-trèfles-chicorée par des bovins à l'engrais

Isabelle Morel¹, Rémy Delagarde², Pierre-Alain Dufey¹, Erika Schmid¹, Anne Aragon¹, Camille Sonet¹ et Olivier Huguenin-Elie³

¹Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

²PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

³Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Isabelle Morel, e-mail: isabelle.morel@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs12-45> Date de publication: 22. Mars 2021



Figure 1 | Un des deux groupes d'animaux de l'essai, composés chacun de trois bœufs de race Angus et trois bœufs de race Limousine, à la pâture sur une des 16 sous-parcelles de la surface expérimentale. (Photo: O. Bloch, Agroscope).

Résumé

Une expérience a été menée sur le site d'Agroscope à Posieux afin de comparer l'effet d'un mélange composé de quatre espèces (ME) et d'un fourrage issu d'une monoculture de ray-grass anglais (RG) sur l'ingestion de bœufs à l'engrais. La prairie ME a été semée avec un mélange comptant 50 % de ray-grass anglais et 50 % de chicorée, trèfle blanc et trèfle violet (chacun un tiers). Elle a été utilisée pour moitié à la fauche (F) avec distribution à la crèche et pour moitié à la pâture (P), tout comme la prairie RG. Durant huit cycles de deux semaines, deux groupes comptant chacun trois bœufs Angus (AN) et trois Limousins (LM) ont ingéré soit le mélange ME soit le RG, puis l'inverse en alternance, avec changement de système (F *ad libitum* et P rationné) tous les deux cycles. L'ingestion a été estimée à la pâture et à la crèche à l'aide de la méthode des doubles marqueurs (n-alcanes HC31-HC32) et mesu-

rée individuellement à la crèche. Sur l'ensemble de l'essai (fauche et pâture), les bœufs ont ingéré en moyenne 0,4 kg de MS de plus par jour du fourrage ME par rapport au ray-grass pur ($p=0,02$). L'effet de la composition botanique de la prairie était également significatif lors de la distribution *ad libitum* à l'étable avec une différence identique de 0,4 kg de MS ou 4,4 % ingérés en plus avec le mélange ME ($p<0,01$). Cet effet est apparu pour les deux races étudiées qui se différencient entre elles de façon tendancielle par leur niveau d'ingestion (Angus > Limousin). De par les multiples avantages que représentent les prairies multi-espèces, la recherche d'une composition botanique optimale sur de nombreux plans doit se poursuivre.

Key words: multispecies, sward, pasture, cutting, chicory, intake, beef steers.

Introduction

Dans le contexte actuel où le climat change et est au centre des débats, l'agriculture et en particulier les producteurs de viande bovine font face à de nombreux défis. D'un côté, ils doivent adapter leurs systèmes de production à l'évolution des conditions climatiques, qui pourrait entraîner une augmentation de la fréquence des périodes défavorables à la production fourragère dans de nombreuses régions suisses (IPCC 2013). De l'autre côté, il est nécessaire de réduire l'impact de la production sur le réchauffement climatique tout en respectant le bien-être animal. Les systèmes de production basés sur les prairies (pâturage ou fauche) représentent un élément clé face à ces nombreux défis. En effet, le large éventail d'espèces prairiales et de types de prairies pouvant être utilisés pour la production fourragère offre de nombreuses possibilités d'adaptation aux nouvelles conditions (Mosimann *et al.* 2017). De plus, l'effet souvent positif des prairies sur la séquestration du carbone (Hörtnagl *et al.* 2018) peut contribuer à compenser une partie des gaz à effet de serre émis par les ruminants.

Par rapport aux pays qui nous entourent, la Suisse est pionnière en matière d'utilisation de mélanges fourragers. Les nombreux aléas climatiques survenus au cours de la dernière décennie, notamment en Europe, ont incité nos voisins à réagir de façon à sécuriser leurs systèmes fourragers, fréquemment constitués de monocultures de ray-grass jusqu'il y a peu. Plusieurs projets de recherche européens ont ainsi vu le jour, tels que Multisward (FP7-244983, 2010–2014; https://www.multisward.eu/multisward_eng/The-Multisward-project), dans lequel s'intégrait l'essai présenté dans cet article. Ce projet avait pour objectif principal de favoriser le développement et les innovations dans l'utilisation et la gestion des prairies multi-spécifiques.

La composition botanique des prairies est un levier important pour sécuriser les systèmes fourragers face aux aléas climatiques (Hofer *et al.* 2016). La complémentarité des espèces est intéressante à plus d'un titre: elle favorise, entre autres, un développement différent des systèmes racinaires (Hoekstra *et al.* 2015, Husse *et al.* 2017), améliore la valeur nutritive (Baumont *et al.* 2008) et l'ingestibilité du fourrage (Ginane 2008) ou permet une plus grande stabilité des rendements (Suter *et al.* 2021). Cependant, la valeur nutritive et/ou l'appétence des espèces particulièrement résistantes à la sécheresse sont souvent inférieures à celles des espèces aujourd'hui communément utilisées en Suisse (Fales 2007). Il est donc important de mesurer le niveau d'ingestion par les ruminants des mélanges contenant ce type d'espèces afin

de pouvoir correctement évaluer leurs avantages et inconvénients.

La chicorée (*Cichorium intybus* L.) se rencontre dans notre pays à l'état sauvage, dans des milieux ensoleillés et relativement secs comme les bords de chemins (Lauber *et al.* 2018). Elle est fréquemment utilisée pour la production fourragère en Nouvelle-Zélande (Moloney et Milne 1993) et dans certaines régions des États-Unis, mais encore peu en Suisse. Des variétés adaptées à la pâture et appétentes pour les animaux ont été développées. La longue racine pivotante de la chicorée pourrait lui conférer une certaine résistance à la sécheresse, d'où la prise en compte de cette espèce dans plusieurs essais récents d'Agroscope. Ces essais ont montré que l'addition de la variété fourragère Puna II dans un mélange ray-grass anglais et trèfles ne provoquait pas de diminution de rendement lorsque l'approvisionnement en eau était suffisant (Husse *et al.* 2017). Les essais ont également montré que le rendement de la chicorée était moins fortement réduit durant les périodes de sécheresse que celui du ray-grass anglais (Hofer *et al.* 2016). Les connaissances sur l'ingestion de fourrage provenant de mélanges contenant de la chicorée sont cependant encore insuffisantes pour nos conditions de production. L'essai présenté ici avait pour but de déterminer l'effet d'un mélange graminées-trèfles-chicorée sur l'ingestion de fourrage par des bovins par rapport à celle de bovins affouragés avec une prairie monospécifique de ray-grass anglais. Il complétait un précédent essai réalisé à la station de recherche de Reckenholz avec les mêmes prairies, également fauchées et pâturées, mais sans mesure d'ingestion (Husse *et al.* 2017). La comparaison effectuée dans deux systèmes (pâture ou étable) a été réalisée avec des bœufs de deux races différentes (Angus ou Limousine). Ces races ont été choisies car elles se distinguent par leur capacité d'ingestion très élevée pour les Angus, en particulier pour les rations herbagères (Dufey *et al.* 2002; Chassot 2008) ou au contraire inférieure aux autres races pour la Limousine (Faverdin *et al.* 1997).

Matériel et méthodes

Le tableau 1 résume le dispositif expérimental.

Animaux et variantes expérimentales

Deux types de prairies ont été étudiés: une variante témoin monospécifique (variante **RG**) composée de ray-grass anglais (*Lolium perenne*, RGA, variété Alligator) et une variante multispécifique (variante **ME**) composée

Tableau 1 | Résumé des conditions expérimentales.

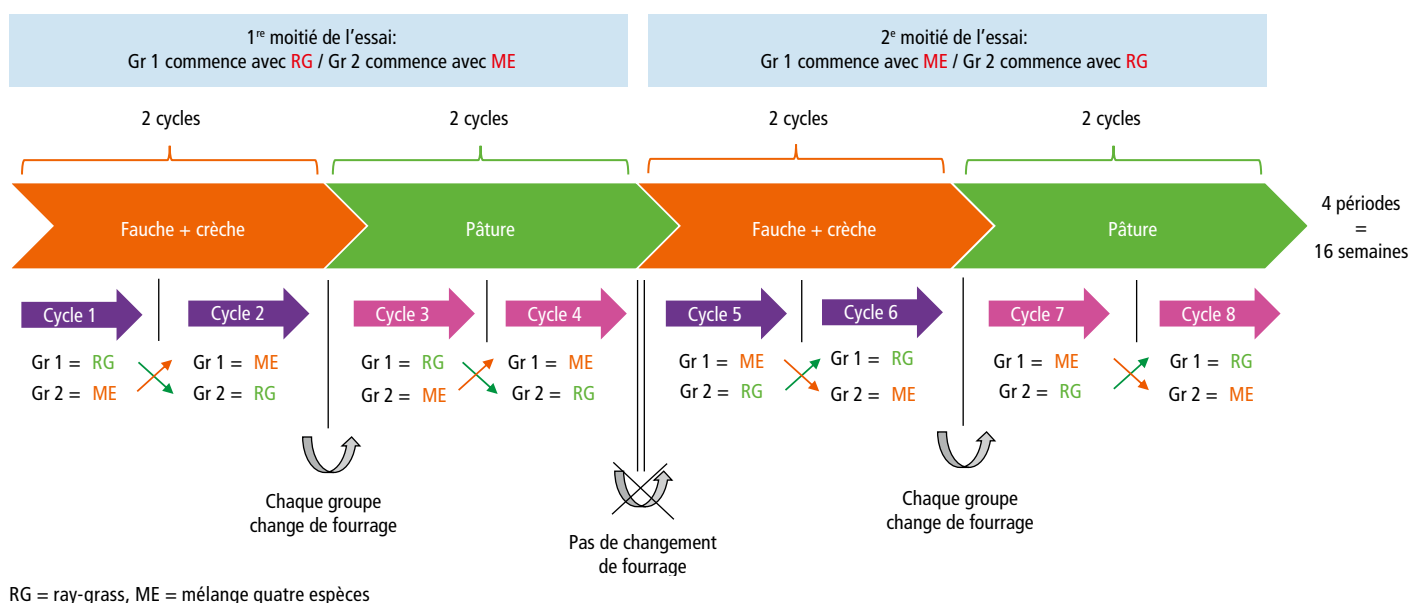
Variétés expérimentales	prairie multispécies (ME) ou monospécifique (RG), fauchée ou pâturée
Animaux	2 × 6 bœufs; âge 14,2 mois; PV 447 kg, de race Angus (AN) ou Limousine (LM)
Lieu	Agroscope, Posieux (FR), 625 m d'altitude; durée 16 semaines (avril à août)
Système de fauche et de pâture	par rotation sur 16 parcelles de 25 a en moyenne (8 par variante, dont la moitié pour la fauche et l'autre pour la pâture)

de quatre espèces, soit le RGA (même variété que dans RG), le trèfle blanc (*Trifolium repens*, TB, variété Hebe), le trèfle violet (*Trifolium pratense*, TV, variété Dafila) et la chicorée (*Cichorium intybus*, CHI, variété Puna II). Le mélange multispécifique était composé pour moitié de ray-grass anglais, et pour autre moitié des trois autres espèces présentes en parts égales. Chaque espèce complémentaire au ray-grass correspond à un type fonctionnel différent (légumineuse, profondeur d'enracinement, position des feuilles).

Les prairies ont été semées sur une surface totale de quatre hectares – deux par variante. La surface de chaque variante RG et ME a été divisée en deux parties: l'une réservée à la fauche et l'autre à la pâture. Chacune d'elles est encore subdivisée en quatre sous-parcelles, correspondant aux quatre semaines d'utilisation successives. La surface totale est par conséquent subdivisée en 16 sous-parcelles.

Pour garantir un bon établissement de la variante RG, le niveau de fertilisation au semis a été doublé par rapport à la variante ME. Il en a été de même lors du premier apport minéral du printemps correspondant à 27 kg N de plus par ha. Dès le début de la période expérimentale, le niveau de fertilisation des prairies RG et ME a été le même. Au total durant l'année d'essai, 148 kg N par ha ont été appliqués sur ME et 175 sur RG, répartis en trois distributions par sous-parcelle: une en avril pour toute la surface, une en mai et une en juin le plus souvent après la deuxième et la troisième utilisation. Des fauches et pâtures de préparation (avec le troupeau de vaches laitières d'Agroscope) ont été réalisées de manière à ce que l'âge des repousses soit semblable entre les deux variantes lors de leur utilisation. Cet âge a varié de 20 à 38 jours en fonction de la croissance de l'herbe.

L'essai a été réalisé avec 12 bovins mâles castrés (bœufs) issus de l'élevage des vaches allaitantes, pour une moitié de race Angus et l'autre moitié de race Limousine. Les bouvillons étaient âgés de 14,2 mois et pesaient 447 ± 33 kg en moyenne au début de l'essai. Ils ont été répartis de façon équilibrée dans deux groupes selon la race et le poids. Chaque groupe était donc composé de trois Angus et de trois Limousins. Pendant huit cycles consécutifs de deux semaines chacun (C1 à C8), les deux groupes d'animaux ont reçu en alternance la variante RG et la variante ME, durant les cycles 1–2 et 5–6 à l'étable (fauche), et durant les cycles 3–4 et 7–8 au pâturage (fig. 2). Ce dispositif expérimental est ainsi constitué de deux périodes de quatre cycles qui se répètent. L'attribu-

**Figure 2 | Dispositif expérimental avec attribution des fourrages ME et RG aux deux groupes d'animaux lors de chacun des huit cycles de 14 jours.**

tion des fourrages ME et RG aux deux groupes au début de la première moitié de l'essai (cycle 1) a été volontairement inversée au début de la deuxième moitié de l'essai (cycle 5). Aucun aliment concentré n'a été distribué durant toute la durée de l'essai. Un mélange de sels minéraux (blocs UFA 999) était mis à disposition à l'étable.

Gestion des surfaces fauchées et pâturées

Lors des cycles à l'étable, le fourrage était distribué *ad libitum*. Au pâturage, la quantité d'herbe offerte chaque jour par avancée du fil était la même pour les variantes RG et ME. Elle était calculée en fonction de la biomasse à une hauteur de 3 cm (Pérez-Prieto *et al.* 2011), de la croissance quotidienne de l'herbe et de la hauteur d'herbe mesurée quotidiennement. Une offre de 96 % par rapport à l'ingestion effective à la crèche durant la période précédente a été appliquée lors des deux premiers cycles de pâture (C3 et C4). Par exemple, si les animaux ont ingéré en moyenne 8,5 kg MS/j durant la phase d'alimentation à la crèche, la quantité d'herbe offerte au pâturage a été fixée à 8,2 kg MS/j au-dessus de 3 cm. Ce niveau a été choisi pour concorder avec celui appliqué sur deux autres sites du projet Multisward (AU-IBER, UK et INRAE-Rennes, F). Il s'agit d'une gestion du pâturage volontairement sévère pour avoir une bonne valorisation de l'herbe produite et des hauteurs de refus faibles. Pour pouvoir observer le choix des espèces par les animaux lors de l'ingestion à la pâture, l'offre a été augmentée à 110 % lors des cycles C7 et C8.

Mesures expérimentales sur l'herbe et le pâturage

À chaque cycle (fauche et pâture), la composition botanique du mélange a été déterminée sur la surface prévue pour les mesures d'ingestion. En même temps, des échantillons d'herbe ont été collectés et triés pour l'analyse des alcanes et de la teneur en nutriments par espèce. La hauteur d'herbe a été mesurée à l'herbomètre (Jenquip, Feilding, NZ) tous les jours avant et après pâture. De plus, une fois par semaine, la hauteur d'herbe a été mesurée sur les 16 sous-parcelles d'essai de manière à pouvoir calculer la croissance moyenne hebdomadaire de l'herbe (voir encadré 1).

Les valeurs nutritives des fourrages des deux variantes ont été calculées à l'aide des équations du Livre vert (Arrigo 2017) pour le type botanique G_R (prairie riche en graminées à dominante ray-grass) pour ME et de l'équation spécifique au ray-grass anglais pour RG. Pour les espèces pures, les équations spécifiques au ray-grass anglais, au trèfle blanc et au trèfle violet ont été appliquées (Arrigo 2017, module LV06). Le même module a été utilisé pour la chicorée avec des valeurs de digestibi-

lité de la matière azotée (MA) et de la matière organique (MO) ainsi qu'une valeur de dégradabilité de la MA déterminées *in vivo* et *in sacco* pour de la chicorée séchée au séchoir expérimental (Arrigo 2012).

La digestibilité de la MO des deux fourrages a été estimée sur la base de la concentration en alcanes de l'herbe ingérée mise en relation avec celle des fèces selon le calcul suivant publié par Dove et Mayes (1991): $dMO = 1 - ([\text{concentration en alcane de l'herbe} \times \text{taux de récupération de l'alcane}] / \text{concentration en alcane dans les fèces})$. Ce calcul a été effectué séparément pour chacun des huit cycles et pour chaque alcane impair (HC27, 29, 31, 33 et 35) des fourrages ME et RG à partir de la concentration moyenne en alcanes impairs correspondants et de la concentration moyenne en alcanes dans les fèces des animaux de chaque groupe. Les taux de récupération pris en compte sont issus d'une équation de régression de S. Darms (2010) calculée à partir d'une revue de la littérature sur des essais réalisés avec des vaches laitières.

Mesures expérimentales sur les animaux

Les animaux ont été pesés le matin du premier jour de chaque cycle de 14 jours.

Pour tous les cycles (pâture et fauche), l'ingestion individuelle a été déterminée par la méthode des doubles marqueurs n-alcanes (voir encadré 2). Les choix alimentaires d'espèces ont été déterminés à partir du profil fécal des alcanes et à l'aide du logiciel EatWhat de Dove et Moore (1995). Lors des cycles de fauche, l'ingestion individuelle a de plus été mesurée à l'étable à l'aide du système électronique de crèches montées sur balances (RIC System, Insentec B.V., Marknesse, Niederlande).

Analyse statistique

La mise en valeur a été effectuée sous forme d'une analyse de variance avec quatre ou cinq facteurs: la variante expérimentale (V) ME ou RG, la race (R), l'animal (A) hiérarchisé dans R, le cycle (C) et le cas échéant le système (S) fauche ou pâture lors des analyses incluant la comparaison des systèmes (NCSS, 2007). Les interactions entre facteurs sont incluses dans le modèle de base puis éliminées du modèle lorsqu'elles ne sont pas significatives.

Résultats et discussion

Composition chimique et valeur nutritive des fourrages

La teneur moyenne en matière sèche (MS) des fourrages ME était de 15,4 % et celle des fourrages RG de 16,5 %. Les résultats moyens des analyses chimiques des échantillons de fourrage des deux variantes et des espèces pures sont donnés au tableau 2.

Tableau 2 | Teneurs en nutriments et valeur nutritive (par kg MS) des échantillons de fourrage prélevés à la récolte (fauche) ou juste avant la pâture (moyenne \pm écart-type).

Constituant	Variantes		Espèces pures				
	Mélange 4 espèces ME	Ray-grass pur RG	Ray-grass dans RG	Ray-grass dans ME	Trèfle blanc dans ME	Trèfle violet dans ME	Chicorée dans ME
Nbre d'échantillons	16	16	8	8	8	8	8
Cendres g	109 \pm 8	103 \pm 11	91 \pm 7	94 \pm 10	110 \pm 9	101 \pm 10	150 \pm 14
Matière azotée g	157 \pm 22	156 \pm 29	133 \pm 13	133 \pm 14	213 \pm 20	187 \pm 13	150 \pm 24
Cellulose brute g	237 \pm 25	245 \pm 24	258 \pm 24	258 \pm 12	168 \pm 19	171 \pm 24	150 \pm 19
Lignocellulose g	275 \pm 31	276 \pm 27	289 \pm 30	290 \pm 21	243 \pm 21	239 \pm 29	219 \pm 16
Parois cellulaires g	467 \pm 42	483 \pm 43	471 \pm 35	476 \pm 26	269 \pm 28	268 \pm 27	224 \pm 18
NEV ¹ MJ	6,1 ^a \pm 0,4	5,8 ^b \pm 0,7	5,3 \pm 0,6	5,2 \pm 0,3	6,1 \pm 0,3	5,9 \pm 0,2	6,2 \pm 0,1
PAIE ¹ g	100 \pm 6	97 \pm 9	90 \pm 5	90 \pm 4	108 \pm 4	104 \pm 3	104 \pm 9
PAIN ¹ g	105 \pm 15	104 \pm 20	89 \pm 9	89 \pm 10	142 \pm 13	125 \pm 9	102 \pm 18

¹Variante mélange ME: équations pour type G₈, et variante RG: équations pour ray-grass anglais, valeurs issues de dMO estimées par CB, cycle et stade déterminés. Espèces pures, équations spécifiques aux espèces avec cycle et stade déterminés: selon LV06 par CB.

^{a,b}Seuil de signification $p < 0,05$.

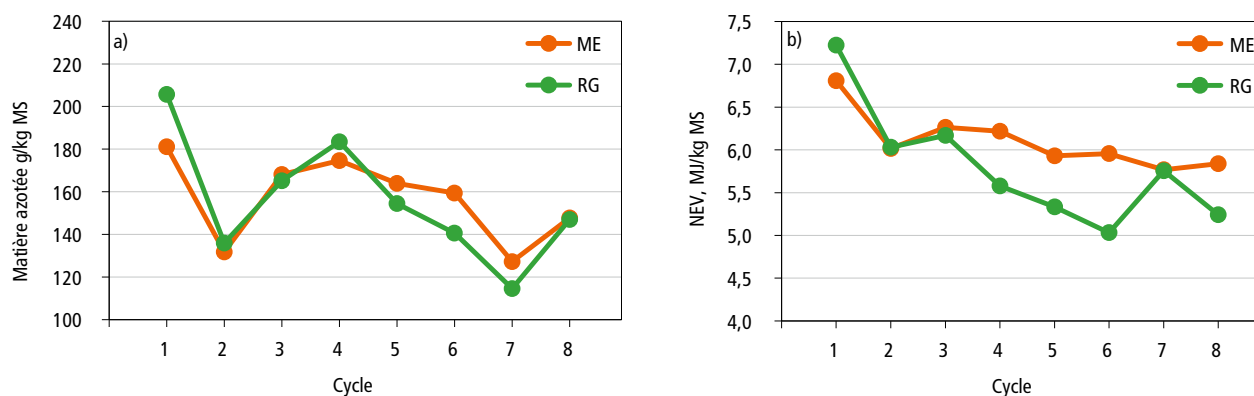
Les teneurs en nutriments analysés dans les fourrages des deux variantes ne laissent apparaître aucune différence significative. En revanche, la teneur en énergie du mélange se révèle supérieure de 0,3 MJ NEV par kg de MS par rapport au ray-grass pur ($p=0,04$). L'évolution de la teneur en matière azotée et en énergie (NEV) du fourrage des deux variantes au cours des cycles est donnée à la figure 3. Entre le 1^{er} et le 8^e cycle, la teneur en énergie de la monoculture de ray-grass diminue de 2 MJ NEV par kg de MS, alors que celle du mélange reste plus stable avec une diminution de moins d'1 MJ NEV sur la même période.

Avec moins de 10%, la teneur en MS de la chicorée à la récolte est nettement inférieure à celle des autres espèces du mélange (15% pour le TB et 17% pour le RGA et le TV). Sa valeur nutritive moyenne est comparable à celle du mélange. Par rapport aux données publiées par

Arrigo (2012) pour cette espèce, les teneurs moyennes obtenues sur les huit échantillons de l'essai sont semblables au niveau de la MA (=) et de la CB (-12g) avec moins de cendres (150 au lieu de 206g). La teneur en NEV, calculée avec les mêmes coefficients de digestibilité et de dégradabilité, est de 0,4 MJ NEV supérieure. Comparées aux données publiées par Delagarde *et al.* (2014) dans le cadre du même projet Multisward, les teneurs en MA et en NDF sont plus faibles ici (MA 150 vs 205 et NDF 224 vs 327 g/kg MS). À noter cependant la variabilité importante dans les échantillons de chicorée.

Digestibilité des fourrages

Les coefficients de digestibilité de la MO obtenus pour ME et RG en moyenne des huit cycles et des cinq alcanes impairs sont similaires pour les deux fourrages avec 75,5. Ils sont plus élevés que ceux calculés selon les équations



ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

Figure 3 | Évolution de la teneur en matière azotée (a) et en énergie nette pour la production de viande NEV (b) au cours des huit cycles de l'essai.

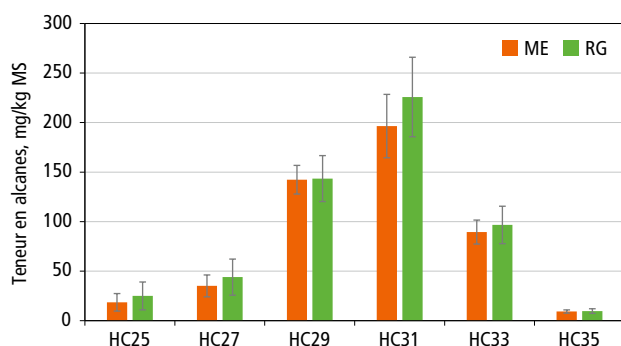


Figure 4 | Le mélange multi-espèces composé de ray-grass anglais, trèfle blanc, trèfle violet et chicorée lors des mesures de biomasse. (Photo: A. Aragon, Agroscope).

du Livre vert (Arrigo 2017) à partir des teneurs moyennes en nutriments avec correction selon le cycle et le stade qui s'élèvent à respectivement 71,7 et 68,7 et qui eux présentent une différence de 3 points en faveur de ME.

Composition botanique

Le résultat de l'analyse botanique du mélange ME, effectuée lors de chacun des huit cycles, donne en moyenne dans la matière sèche 80,3 % de ray-grass, 9 % de chicorée, 7,1 % de trèfle violet, 2,4 % de trèfle blanc et 1,3 % d'autres plantes (fig. 4). Entre les quatre premiers et les quatre derniers cycles, la proportion de RGA a diminué de 8 points-% au profit du TV (+ 6 points-%) et de la chicorée (+ 2 points-%), le trèfle blanc étant resté stable à moins de 3% de la matière sèche récoltée. Le mélange était donc riche en RGA mais offrait tout de même environ 10 % de trèfles et 10 % de chicorée aux animaux.



ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

Figure 5 | Teneurs en alcanes impairs dans l'herbe ingérée durant les quatre jours de référence pour l'estimation de l'ingestion à l'aide des marqueurs (moyennes ± écart-type).

Dans l'essai conduit à INRAE de Rennes (expérience commune au sein du projet Multisward), ce même mélange présentait une composition botanique plus proche des proportions recherchées avec en moyenne dans la MS sur deux années d'essai 44 % de RG, 29 % de CHI et 20 % de trèfles (Roca-Fernández *et al.* 2016).

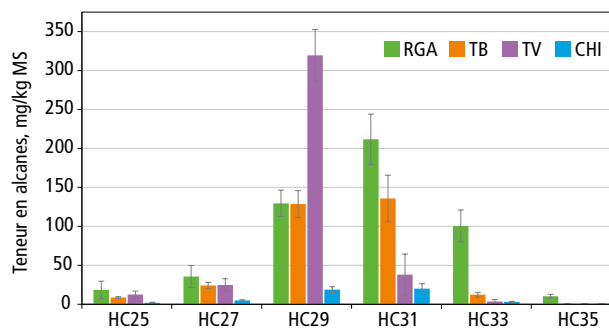
Teneurs en alcanes

Les teneurs en alcanes natifs données à la figure 5 ne présentent que peu d'écarts entre les fourrages ME et RG, le plus important étant de près de 20 mg par kg MS pour le HC31.

Cette constatation n'est pas surprenante étant donné la composition botanique du mélange. En effet, l'espèce dominante (ray-grass) est parmi les espèces du ME celle qui contient le plus d'alcanes (somme des alcanes impairs HC25-HC35 égale à près de 500 mg/kg MS), suivie par le trèfle violet (380) et le trèfle blanc (320). Quant à la chicorée, sa teneur en alcanes impairs n'est que de 50 mg par kg MS (fig. 6).

Ingestion à partir des hauteurs d'herbe

La méthode d'estimation de l'ingestion moyenne du lot par la technique de différence de hauteurs d'herbe avant et après pâturage est décrite dans l'encadré 1. Les surfaces mises à disposition et les quantités d'herbe offertes quotidiennement par animal sont indiquées au tableau 3. Ainsi, une même quantité d'herbe par animal devait être offerte dans les groupes ME et RG. Par rapport aux quantités prévues données dans la colonne encadrée du tableau 3, on constate dans la colonne suivante que la quantité effectivement offerte est, en moyenne des quatre cycles de pâture, de seulement 4 % inférieure pour le groupe ME et 8 % inférieure pour le groupe RG. Les différences entre les quantités prévues



RGA = ray-grass, TB = trèfle blanc, TV = trèfle violet, CHI = chicorée

Figure 6 | Teneurs en alcanes impairs des différentes espèces présentes dans l'herbe ingérée durant les quatre jours de référence pour l'estimation de l'ingestion à l'aide des marqueurs (moyennes ± écart-type).

et les quantités effectivement offertes étaient donc faibles. Ces différences dépendent principalement de l'écart entre l'estimation de la hauteur d'herbe faite la veille pour le lendemain en tenant compte de la croissance de l'herbe, et de la hauteur d'herbe effective mesurée avant l'entrée des animaux sur la parcelle. Cette

croissance a été souvent surestimée et davantage pour les prairies RG que pour ME. On pourrait penser que les ingestions moyennes calculées (dernière colonne) plus basses pour les animaux du groupe RG par rapport à ME sont dues à l'offre moins importante d'herbe, mais ce n'est pas forcément le cas. En effet, l'ingestion moyenne

Encadré 1

Méthodes d'estimation de l'ingestion au pâturage

Il existe plusieurs méthodes d'estimation de l'ingestion de l'herbe au pâturage. Deux d'entre-elles ont été appliquées dans cet essai.

1. Méthode de différence de hauteur d'herbe

Cette méthode consiste à mesurer à l'aide d'un herbomètre la hauteur de l'herbe lors de l'entrée et de la sortie des animaux dans une parcelle dont la surface et la quantité d'herbe disponible à la surface (biomasse) ont été mesurées.

Dans cet essai, la biomasse a été estimée en fauchant à la motofaucheuse, deux jours avant l'entrée des animaux dans la parcelle, trois bandes distinctes de 5 x 1 m à 3 cm de hauteur de coupe. La hauteur d'herbe a été mesurée avant et après la fauche, à raison de 15 mesures par bande. Le poids frais de l'herbe récoltée sur chaque bande et la mesure de deux teneurs en MS par bande ont servi à estimer la densité (kg MS par ha et par cm de hauteur d'herbe). La biomasse disponible le jour de l'entrée des animaux dans la parcelle a été corrigée en fonction de la croissance de l'herbe intervenue durant les deux jours. Comme les animaux ne restaient qu'un jour sur la même parcelle, il n'y avait pas lieu de corriger la biomasse disponible due à la croissance de l'herbe durant le séjour des animaux. La densité prise en compte pour estimer la quantité d'herbe restante à la sortie des animaux était la même que celle mesurée avant l'entrée. La précision de la mesure de la hauteur d'herbe, la correction en fonction de la croissance de l'herbe et la densité prise en compte pour les calculs constituent les principales limites de cette méthode.

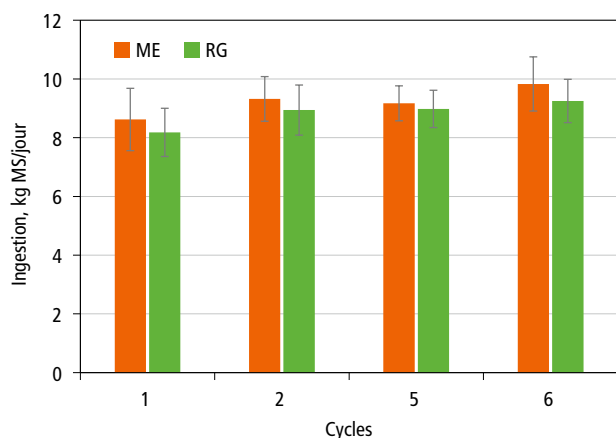
2. Méthode des marqueurs

Dans cet essai, une méthode basée sur l'emploi de marqueurs externes a été utilisée, celle des doubles marqueurs n-alcanes (selon Dove et Mayes 1991, Pérez-Ramirez *et al.* 2011, Peters 2008). La technique consiste à distribuer un marqueur externe pas ou peu présent dans les végétaux, le HC32 (dotriacontane) placé dans une capsule en gélatine, donné par voie orale aux animaux matin et soir pendant 11 jours à l'aide d'un applicateur. Durant les quatre derniers jours d'application, des prélèvements fécaux sont effectués matin et soir puis poolés en vue de l'analyse d'un marqueur interne qui peut être le HC31 (hentriacontane) ou le HC33 (tritriacontane). En parallèle, dès deux jours avant les prélèvements fécaux, des échantillons d'herbe représentatifs de la fraction ingérée par les animaux ont été prélevés chaque jour durant quatre jours selon une technique qui consiste à reproduire le comportement d'ingestion des animaux (choix des espèces et hauteur d'herbe broutée) sur la base de l'observation de la parcelle pâturée la veille. La concentration en n-alcanes est ensuite déterminée dans un pool des échantillons prélevés. Un calcul basé sur le rapport entre marqueur interne et externe dans les fèces ainsi que dans l'herbe tenant compte de l'apport de ces marqueurs via respectivement la distribution du HC32 et l'ingestion des n-alcanes via l'herbe permet d'estimer l'ingestion.

Tableau 3 | Ingestion moyenne journalière à la pâture estimée à partir du différentiel de hauteurs d'herbe (Hh) et de la biomasse mesurée.

Cycle	Variante	Biomasse / ha / cm kg MS	Surface / animal m ²	Hh entrée cm	Hh sortie cm	Hh_dispo (> 5 cm) cm	Herbe off._prévue kg MS/j	Herbe off._eff, kg MS/j	Ingestion moyenne kg MS/j
C3	ME	227,6	36,1	14,6	6,6	4,8	8,9	8,3	7,1
C3	RG	228,5	35,3	14,6	6,9	4,8	8,9	8,2	6,7
C4	ME	244,6	42,7	13,3	5,8	4,2	9,0	8,5	7,7
C4	RG	261,1	34,0	13,6	6,1	4,3	9,0	7,7	6,8
C7	ME	325,1	51,7	11,6	6,3	3,3	11,0	10,7	8,6
C7	RG	301,5	55,2	11,1	6,4	3,1	11,0	10,1	7,7
C8	ME	331,1	78,9	9,2	5,5	2,1	11,0	10,8	9,3
C8	RG	325,9	81,9	9,0	5,7	2,0	11,0	10,7	8,8
Moyenne	ME	282,1	52,4	12,2	6,0	3,6	10,0	9,6	8,2
Moyenne	RG	279,3	51,6	12,1	6,3	3,6	10,0	9,2	7,5

ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass



ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

Figure 7 | Ingestion moyenne de fourrage des variantes ME et RG durant les cycles à l'étable (moyennes \pm écart-type).

résulte du même calcul que celui effectué pour l'estimation de la quantité d'herbe offerte, à la différence près que la première est basée sur l'écart entre la hauteur d'herbe entrée-sortie et la deuxième sur l'écart hauteur d'herbe entrée et une hauteur fixe de 5 cm (hauteur de référence dans des modèles de calcul d'ingestion d'herbe au pâturage [Delagarde *et al.* 2001; Delagarde *et al.* 2004]). De plus, il s'avère que la hauteur d'herbe à la sortie des parcs, soit les refus, est en moyenne plus élevée pour RG que pour ME.

Finalement, l'offre d'herbe était en moyenne plus élevée de 0,4 kg MS/j pour ME que pour RG, alors que la différence d'ingestion était de 0,7 kg MS/j en faveur de ME. L'ingestion estimée par cette méthode reste donc légèrement supérieure pour ME que pour RG même après soustraction de la différence d'offre.

Ingestion d'herbe à l'étable

Les résultats d'ingestion d'herbe mesurés à la crèche sont représentés à la figure 7.

En moyenne des quatre cycles de mesure à l'étable, l'ingestion de fourrage de la variante ME a été significativement supérieure de 4 % à celle de la variante RG, avec $9,23 \pm 0,85$ kg MS/j contre $8,84 \pm 0,82$ kg MS/j ($p < 0,01$). Calculée par kg de poids métabolique, l'ingestion s'élève à $87,9 \pm 5,4$ g/kg $PV^{0,75}$ et $84,1 \pm 5,3$ g/kg $PV^{0,75}$ respectivement pour ME et RG et présente également un écart significatif ($p \leq 0,001$).

L'effet cycle est hautement significatif pour l'ingestion journalière ($p < 0,001$) et tendanciel pour l'ingestion par kg de poids métabolique ($p = 0,06$). Avec, en moyenne pour RG et ME, 0,64 kg MS/j ou 7,3 % ingéré en plus par les animaux Angus (AN) par rapport aux Limousins (LM), l'effet race est bien présent mais statistiquement seulement tendanciel ($p = 0,09$). Exprimée par kg de poids métabolique, l'ingestion ne se différencie pas statistique-

Tableau 4 | Valeurs d'ingestion à la pâture estimées à partir des n-alcanes (HC31–HC32) vs quantité d'herbe offerte.

Cycles	Variante ME		Variante RG	
	Ingestion HC 31–32 kg MS/j	Herbe offerte kg MS/j	Ingestion HC 31–32 kg MS/j	Herbe offerte kg MS/j
3	5,6	8,3	6,6	8,2
4	7,4	8,5	5,0	7,7
7	8,0	10,7	7,7	10,1
8	8,5	10,8	8,2	10,7
Moyenne	7,3	9,6	6,9	9,2

ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

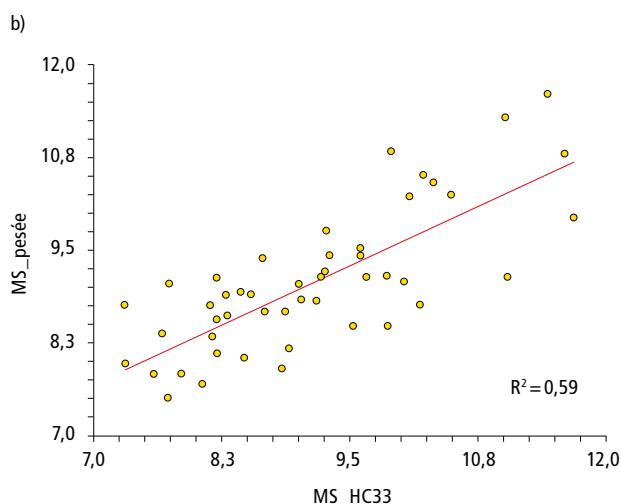
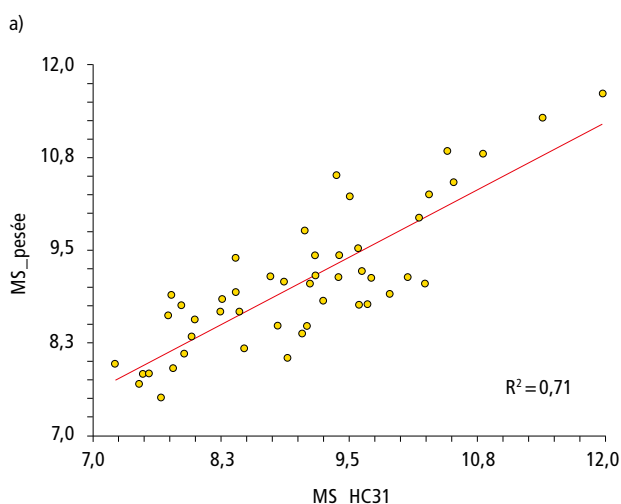
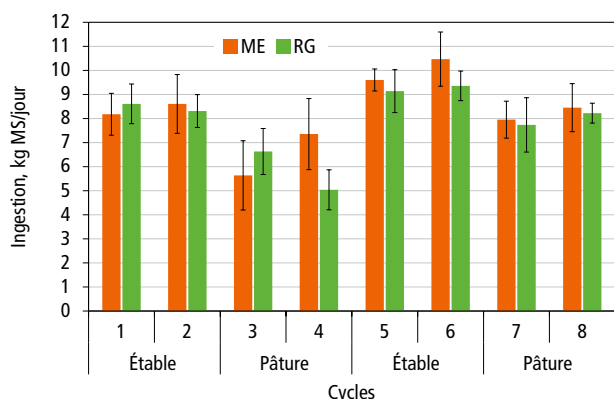


Figure 8a et b | Régression des valeurs d'ingestion de MS mesurées vs valeurs estimées à l'aide des alcanes HC31 et HC32 (a) ou à l'aide des alcanes HC33 et HC32 (b).



ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

Figure 9 | Ingestion durant les huit cycles expérimentaux estimée à partir des n-alcanes (HC31–HC32) (moyennes \pm écart-type).

ment ($p > 0,10$). Selon une revue publiée par Faverdin *et al.* (1997), la Limousine présente une ingestion inférieure de 10 % par rapport aux autres races.

Ingestion mesurée vs estimée avec les alcanes

La comparaison des valeurs moyennes d'ingestion sur les quatre cycles de mesures à la fois à l'aide des crèches sur balances et des n-alcanes montre que l'estimation avec le marqueur interne HC31 donne des valeurs plus proches des valeurs mesurées (9,21 vs 9,23 pour ME et 8,86 vs 8,84 pour RG) que HC33 (respectivement 8,70 et 9,13 pour ME et RG).

Les équations de régression toutes variantes confondues entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées avec les n-alcanes sont données aux figures 8a (HC31) et 8b (HC33). Les valeurs R^2 obtenues sont de respectivement 0,71 pour le HC31 et 0,59 pour le HC33.

Ingestion à la pâture estimée avec les alcanes

Pour les mesures d'ingestion à la pâture, les résultats d'estimation ont été calculés avec la paire d'alcanes

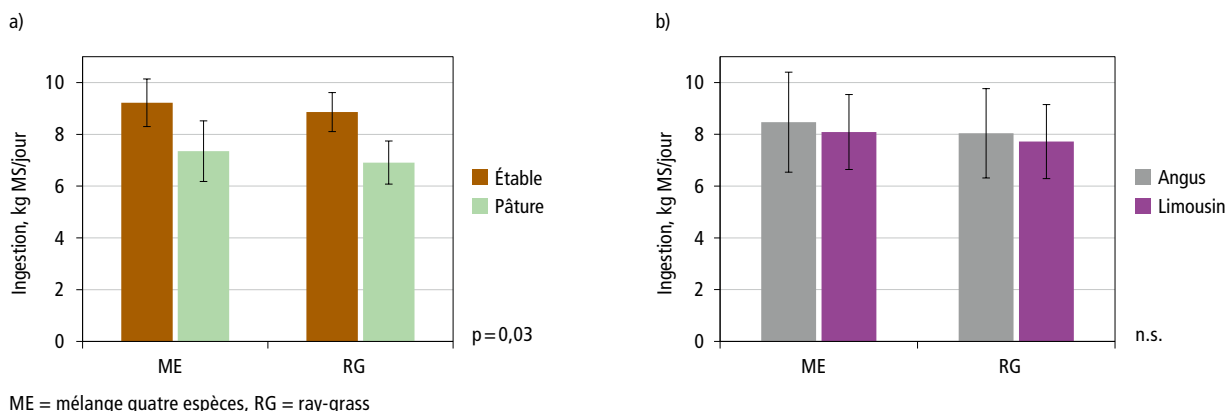
HC31–HC32, ceci en raison du meilleur degré de fiabilité constaté lors de la comparaison avec les valeurs de crèche. Les résultats d'ingestion pour les cycles 3, 4, 7 et 8 sont donnés au tableau 4.

Avec $7,35 \pm 1,56$ kg MS/j pour ME contre $6,91 \pm 1,49$ kg MS/j pour RG, on observe un écart d'ingestion de 0,44 kg MS, semblable à celui mesuré à la crèche, mais non significatif ($p = 0,12$). Ce résultat s'explique par la plus grande variabilité entre les cycles et la plus faible précision de la mesure de l'ingestion au pâturage. Il n'y a pas non plus d'effet race observé au pâturage ($p = 0,61$). Et aucune interaction n'apparaît entre les deux facteurs ($p = 0,99$). La quantité d'herbe ingérée semble dépendante de la quantité de biomasse offerte ($R^2 = 0,81$), mais le niveau d'ingestion à la pâture est d'environ 20 % inférieur à celui mesuré à la crèche. Cette différence est due à la sévérité de la pâture et correspond à celle estimée selon une équation de prédiction de l'ingestion à la pâture à partir de la quantité d'herbe offerte et de la hauteur de l'herbe (Delagarde et Pérez-Prieto 2016).

Ingestion sur tout l'essai estimée avec les alcanes

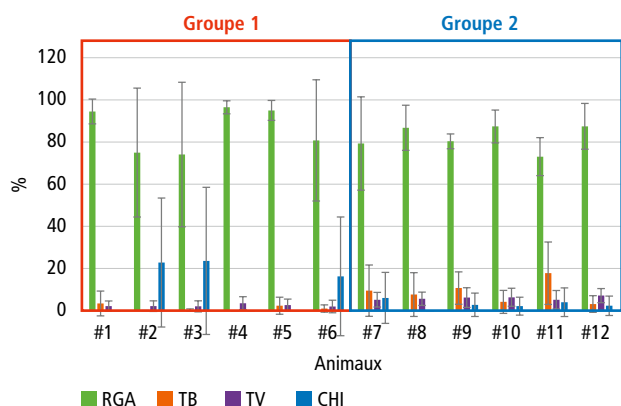
Les résultats d'ingestion sur toute la période, illustrés à la figure 9, sont basés sur les données estimées à partir des n-alcanes. La mise en valeur nécessite une analyse à cinq facteurs incluant l'effet système (fauche = étable ou pâture). Avec une ingestion journalière moyenne sur les huit cycles de $8,28 \pm 1,70$ kg MS pour ME et $7,88 \pm 1,55$ kg MS pour RG, l'effet de la composition botanique de la prairie reste significatif ($p = 0,02$). L'effet système est également significatif ($p = 0,03$) alors que l'effet race ne l'est pas ($p = 0,42$) (fig. 10).

L'augmentation de l'ingestion d'un mélange par rapport à un fourrage monospécifique a déjà été démontrée à maintes reprises notamment l'association ray-grass anglais et trèfle blanc (différents auteurs cités par Peyraud et Delaby 2005; Ginane 2008). Dans l'essai mentionné



ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

Figure 10 | Ingestion durant les huit cycles expérimentaux: effet du système (a) et de la race (b) (moyennes \pm écart-type).



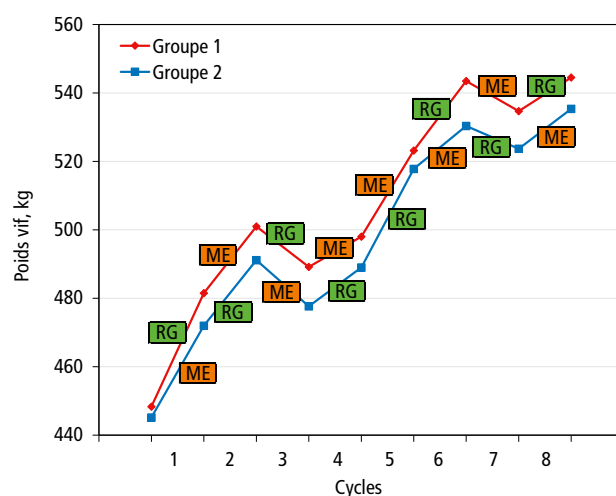
RGA = ray-grass, TB = trèfle blanc, TV = trèfle violet, CHI = chicorée

Figure 11 | Ingestion des quatre espèces du mélange ME par les douze animaux de l'essai estimée à l'aide du logiciel Eatwhat (moyenne et écart-type de 3 ou 4 cycles par animal).

plus haut, conduit à INRAE de Rennes avec des vaches laitières, les résultats d'ingestion sur deux ans (ingestion annuelle mesurée à la pâture) ont également montré une augmentation de 11 % pour le même mélange (ME) par rapport au ray-grass pur (RG) (Roca-Fernández *et al.* 2016).

Espèces ingérées estimées à partir des alcanes

Les calculs donnent une valeur indicative par système, par race et pour chaque animal du groupe ME. Au niveau du système fauche ou pâture, la chicorée et le trèfle blanc semblent être davantage ingérés à la pâture qu'à la crèche. Selon la composition botanique du mélange distribué à la crèche (calculée dans la matière sèche), la



ME = mélange quatre espèces, RG = ray-grass

Figure 12 | Évolution du poids des deux groupes d'animaux au cours des huit cycles expérimentaux.

proportion de chicorée devrait être un peu plus élevée (6,6%) que celle estimée avec le logiciel (3,5%). Ces résultats montrent que dans l'ensemble, la chicorée présente en faible proportion (ici 9 % en moyenne) dans un mélange ray-grass anglais et trèfles est bien consommée par les animaux. À la pâture, par rapport à la composition botanique, il apparaît que le trèfle violet a été sous-consommé et le trèfle blanc en revanche proportionnellement davantage sélectionné par les animaux. La race ne semble pas influencer le choix des espèces, si ce n'est pour la chicorée, dont l'ingestion représenterait plus du double chez les Angus que chez les Limousins (8,3 vs 3,9%). Les variations individuelles peuvent être observées à la figure 11, notamment concernant l'ingestion de chicorée.

Évolution du poids des animaux

L'évolution du poids des animaux des groupes 1 et 2 est représentée à la figure 12, avec le fourrage que chaque groupe a reçu à chaque cycle. Le groupe 2 a eu tendance à s'éloigner de la courbe suivie par l'autre groupe lorsqu'il recevait le mélange (C1, C3, C6), et à s'en rapprocher lorsqu'il recevait le ray-grass pur (C5). En outre, une diminution du poids est observée à chaque passage d'un cycle fauche à un cycle pâture (en moyenne $-12,7$ kg de C2 à C3 et $-7,8$ kg C6 à C7). Cette différence peut être interprétée comme une variation de poids de contenu digestif suite à l'ingestion plus faible observée à la pâture. D'anciennes études avaient estimé cette variation à court terme du poids vif à 6 kg par kg de MS/j ingéré en plus ou en moins (Agabriel et Giraud 1988).

Le gain moyen quotidien des animaux à chaque cycle n'a pas été calculé en raison du dispositif expérimental impliquant des changements de groupes successifs sur des périodes de courte durée. En revanche, à partir des ingestions journalières d'énergie calculées pour les quatre cycles de mesure à l'étable, l'accroissement potentiel a été estimé sur la base de l'ingestion d'énergie et d'un indice de consommation moyen issu des apports recommandés pour les bœufs du Livre vert. Selon ces calculs, le GMQ moyen sur ces quatre cycles serait d'environ 90 g/j supérieur pour la variante ME.

Conclusions

- La teneur en énergie du mélange graminées-trèfles-chicorée est supérieure de 0,3 MJ NEV par kg de matière sèche à celle du ray-grass pur.
- La distribution *ad libitum* à l'étable durant quatre périodes de deux semaines d'un mélange ray-grass anglais/trèfles/chicorée et d'un fourrage issu d'une

monoculture de ray-grass anglais à des bœufs de races Angus et Limousine a montré un effet significatif de la composition botanique sur l'ingestion (0,4 kg MS par jour en moyenne, ou 4,4 %) en faveur du mélange.

- Cet effet apparaît pour les deux races étudiées, qui se différencient entre elles de façon tendancielle par leur niveau d'ingestion (Angus > Limousine).
- Comparée directement à la mesure de l'ingestion à l'étable, l'estimation de l'ingestion par la méthode des doubles marqueurs n-alcane a révélé une corrélation significative avec un R^2 de 71 % pour la paire de marqueurs HC31–HC32.
- L'estimation faite à l'aide de ces mêmes marqueurs sur quatre périodes de deux semaines à la pâture révèle un écart non significatif de 0,44 kg MS en faveur du mélange ($p=0,12$). Cette tendance a aussi été observée en utilisant la méthode de différence de hauteur d'herbe.
- Sur l'ensemble de la période expérimentale incluant les deux systèmes «étable» et «pâture», l'effet positif du mélange sur l'ingestion reste significatif (+0,4 kg MS/jour).

- Dans les conditions de l'essai, où elle n'était présente qu'à raison de 9 % en moyenne dans le mélange, et selon un logiciel d'estimation, la chicorée semble avoir été bien consommée, en particulier par les animaux de race Angus.
- Pour mettre en évidence l'effet du fourrage sur les performances d'engraissement, une comparaison de la croissance et de l'ingestion des animaux sur une période ininterrompue de longue durée serait nécessaire.
- Sur la base de cet essai, le mélange se révèle supérieur à la culture pure de ray-grass sur plusieurs aspects. Globalement, au vu des nombreux avantages que représentent les prairies multi-espèces, la recherche d'une composition botanique optimale sur divers plans doit se poursuivre. ■

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier par le programme européen Multisward n°FP7-244983.

Bibliographie

- Agabriel J. & Giraud J. M., 1988. Contenu ruminal de la vache charolaise. Influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 107–108.
- Arrigo Y., 2017. Module LV06. In: Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive pour les ruminants (Livre vert). Accès: <http://www.agroscope.admin.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=fr> [23.11.2020]
- Arrigo Y., 2012. Valeur nutritive déterminée et estimée de la chicorée, du lotier et de l'esparcette. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (10), 492–499.
- Baumont R., Aufrère J., Niderkorn V., Andueza D., Surault F. & Peccatte J.-R., 2008. La diversité spécifique dans le fourrage: conséquences sur la valeur alimentaire. *Fourrages* 194, 189–206.
- Chassot A., 2008. Performances zootechniques de broutards Angus et Hérens en finition semi-intensive après le sevrage. *Revue suisse Agric.* 40 (6), 267–272.
- Darms S., 2010. Verzehrverhalten zweier Holsteintypen auf der Weide unter biologischen Landbaubedingungen. Masterarbeit ETHZ. 63 p.
- Delagarde R., Prache S., D'Hour P. & Petit M., 2001. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. *Fourrages* 166, 189–212.
- Delagarde R., Faverdin P., Baratte C. & Peyraud J.-L., 2004. Prévoir l'ingestion d'herbe au pâturage et la production des vaches laitières: GRAZEIN, un modèle pour raisonner l'alimentation au pâturage. *Renc. Rech. Ruminants* 11, 295–298.
- Delagarde R., Roca-Fernández A.-I. & Peyraud J.-L., 2014. Prairies multispécifiques avec ou sans chicorée: densité du couvert mesurée à l'herbomètre et composition chimique. *Fourrages* 218, 177–180.
- Dove H. & Mayes R. W., 1991. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores-A review. *Australian Journal of Agricultural Research* 42, 913–952.
- Dove H. & Moore A. D., 1995. Using a least-squares optimization procedure to estimate the botanical composition based on the alkanes of plant cultivar wax. *Australian Journal of Agricultural Research* 47, 1333–1347.
- Dove H. & Mayes R. W., 1996. Plant Wax Components: A New Approach to Estimating Intake and Diet Composition in Herbivores. *Journal of Nutrition* 126, 13–26.
- Dufey P.-A., Chambaz A., Morel I. & Chassot A., 2002. Performances d'engraissement de bœufs de six races à viande. *Revue suisse Agric.* 34 (3), 117–124.
- Fales S. L., 2007. Factors affecting forage quality. In: Forages Vol. II. The Science of Grassland Agriculture. Eds. R. F. Barnes, C. J. Nelson, K. J. Moore & M. Collins. Blackwell Publishing, Oxon, UK, 569–580.
- Faverdin P., Agabriel J., Bocquier F. & Ingrand S., 1997. Maximiser l'ingestion de fourrages par les ruminants: maîtrise des facteurs liés aux animaux et à leur conduite. *Renc. Rech. Ruminants* 4, 65–74.
- Ginane C., Dumont B., Baumont R., Prache S., Fleurance G. & Farruggia A., 2008. Comprendre le comportement alimentaire des herbivores au pâturage: intérêts pour l'élevage et l'environnement. *Renc. Rech. Ruminants* 15, 315–322.
- Hoekstra N. J., Suter M., Finn J. A., Husse S. & Lüscher A., 2015. Do below-ground vertical niche differences between deep- and shallow-rooted species enhance resource uptake and drought resistance in grassland mixtures? *Plant and Soil* 394, 21–34.
- Hofer D., Suter M., Haughey E., Finn J. A., Hoekstra N. J., Buchmann N. & Lüscher A., 2016. Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *Journal of Applied Ecology* 53, 1023–1034.
- Hörtnagl L., Barthel M., Buchmann N., Eugster W., Butterbach-Bahl K., Díaz-Piñés E., Zeeman M., Klumpp K., Kiese R., Bahn M., Hammerle A., Lu H., Ladreiter-Knauss T., Burri S. & Merbold L., 2018. Greenhouse gas fluxes over managed grasslands in Central Europe. *Global Change Biology* 24, 1843–1872.

- Husse S., Lüscher A., Buchmann N., Hoekstra N. J. & Huguenin-Elie O., 2017. Effects of mixing forage species contrasting in vertical and temporal nutrient capture on nutrient yields and fertilizer recovery in productive grasslands. *Plant and Soil* **420**, 505–521.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J. *et al.* (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 389.
- Lauber K., Wagner G. & Gyssels A., 2018. Flora Helvetica – Flore illustrée de Suisse. 5^e édition. Haupt, Bern.
- Moloney S. & Milne G., 1993. Establishment and management of grasslands Puna chicory used as specialist, high quality forage herb. *Proc. New Zealand Grassland Assoc.* **55**, 113–118.
- Mosimann E., Bossuyt N. & Frund D., 2017. Préparation de la production fourragère au changement climatique. *Agroscope Science* **49**.
- NCS, 2007. Statistical Software. Kaysville, Utah 84037.
- Pérez-Prieto L. A., Peyraud J. L. & Delagarde R., 2011. Pasture intake, milk production and grazing behavior of dairy cows grazing low-mass pastures at three daily allowances in winter. *Livestock Science* **137**, 151–160.
- Pérez-Ramírez E., Peyraud J. L. & Delagarde R., 2011. N-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage: maize silage ratio and feeding level. *Animal* **6** (2), 232–244.
- Peters L., 2008. Untersuchungen zur Futteraufnahme und zur Futterselektion weidender Rinder unter Nutzung von n-Alkanen. PhD. Diss., Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Naturwissenschaftlichen Fakultät III der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenburg, Deutschland, 183 p.
- Peyraud J. L. & Delaby L., 2005. Combiner la gestion optimale du pâturage et les performances des vaches laitières: enjeux et outils. *INRA Prod. Anim.* **18** (4), 231–240.
- Roca-Fernández A. I., Peyraud J. L., Delaby L. & Delagarde R., 2016. Pasture intake and milk production of dairy cows rotationally grazing on multi-species swards. *Animal* **10** (9), 1448–1456.
- Suter M., Huguenin-Elie O. & Lüscher A., 2021. Multispecies for multifunctions: Combining four complementary species enhances multifunctionality of sown grassland. *Scientific Reports* **11**, 3835. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82162-y>