



HAL
open science

Which progress on feed efficiency in fattening young bulls?

Clément Fossaert, Sébastien Taussat, Gonzalo Cantalapiedra-Hijar, G. Renand, T. Dechaux, L. Griffon

► To cite this version:

Clément Fossaert, Sébastien Taussat, Gonzalo Cantalapiedra-Hijar, G. Renand, T. Dechaux, et al.. Which progress on feed efficiency in fattening young bulls?. 25. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants (3R 2020), Dec 2020, Paris, France. pp.206-209. hal-03932399

HAL Id: hal-03932399

<https://hal.inrae.fr/hal-03932399v1>

Submitted on 10 Jan 2023

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

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

Quelles avancées sur l'efficacité alimentaire des jeunes bovins ?

FOSSAERT C. (1), TAUSSAT S. (2 3), CANTALAPIEDRA-HIJAR G. (4), RENAND G. (2), DECHAUX T. (5), GRIFFON L. (5)

(1) Institut de l'élevage, 35652 Le Rheu, France

(2) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, GABI, 78350, Jouy-en-Josas, France

(3) Alice, 75012 Paris, France

(4) INRAE, Université Clermont Auvergne, Vetagro Sup, UMRH, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

(5) Institut de l'élevage, 75595 Paris, France

RESUME

L'amélioration de l'efficacité alimentaire est un enjeu essentiel pour la filière bovin viande pour satisfaire la demande mondiale en produits carnés, diminuer les compétitions sur les ressources et augmenter la rentabilité des élevages. Pour étudier la faisabilité d'une sélection sur ce caractère, un des objectifs du programme BEEFALIM 2020 est de comprendre les déterminants physiologiques et génétiques de l'efficacité alimentaire chez les jeunes bovins (JB) en engraissement. Entre 2015 et 2019, 588 JB Charolais, descendants de taureaux évalués sur contrôle individuel (CI), ont été engraisés dans 4 stations expérimentales. Les animaux ont été nourris ad libitum sur deux régimes contrastés, à base d'ensilage de maïs ou d'ensilage d'herbe. Trois critères d'efficacité alimentaire ont été étudiés : le ratio d'efficacité alimentaire (EA), la consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR) et le gain moyen quotidien résiduel (GMQR). L'engraissement avec de l'ensilage de maïs a permis significativement une meilleure croissance des animaux (1,62 kg/j contre 1,39 kg/j), l'obtention d'un poids de fin de période de contrôle plus élevé (724 kg contre 673 kg) tout en ingérant plus d'aliments (9,84 kg MS/j contre 9,46 kg MS/j). Les JB nourris à l'ensilage de maïs ont significativement mieux valorisé l'aliment, avec une EA de 0,166 kg/kg MS contre 0,147 kg/kg MS. Cependant, une forte interaction a été trouvée entre les séries et le régime. La variabilité des qualités de l'ensilage d'herbe observée, selon les conditions et les dates de récoltes, a pu impacter les performances des animaux. Les analyses génétiques ont montré une héritabilité modérée pour les trois critères d'efficacité alimentaire (0,18 pour l'EA et 0,22 pour la CMJR et le GMQR). Aucune corrélation génétique n'a été observée entre la CMJR d'une part et le GMQR ou l'EA, mais une très forte corrélation génétique a été trouvée entre l'EA et le GMQR (1,00). On note également que la CMJR est corrélée génétiquement avec l'ingestion (0,79), le GMQ (0,57), ainsi que le poids final (0,43). L'EA et le GMQR sont fortement corrélés avec le GMQ (respectivement 0,79 et 0,75) et modérément avec l'ingestion individuelle (respectivement 0,31 et 0,23) ou le poids final (respectivement 0,35 et 0,26). Les corrélations génétiques estimées entre les taureaux de CI, nourris avec un aliment condensé, et leurs descendants, nourris à l'ensilage, sont de 0,58 pour la CMJR, 0,82 pour le GMQR et 0,77 pour l'EA. Ces résultats montrent qu'une amélioration génétique du troupeau allaitant pour ce caractère est possible via un index de sélection combinant les critères d'efficacité et de production.

Which progress on feed efficiency in fattening young bulls?

FOSSAERT C. (1), TAUSSAT S. (2 3), CANTALAPIEDRA-HIJAR G. (4), RENAND G. (2), DECHAUX T. (5), GRIFFON L. (5)

(1) Institut de l'élevage, 35652 Le Rheu, France

SUMMARY

Improving the feed efficiency of cattle is a crucial issue, to satisfy the worldwide growing demand for meat, reduce competition for resources and increase farm profitability. To study the feasibility of selecting this trait, the BEEFALIM 2020 program aims to understand the physiologic and genetic determinants of feed efficiency in fattening young bulls (YB). Between 2015 and 2019, 588 Charolais young bulls, offspring of bulls evaluated on individual control (IC), have been fattened on 4 experimental farms. The animals have been fed ad libitum with two contrasted diets, mainly composed of corn silage or grass silage. Three criteria of feed efficiency have been studied: the feed conversion efficiency (FCE), the residual feed intake (RFI) and the residual daily gain (RDG). The animals fattened with the corn silage had significantly higher average daily gain (ADG) (1.62 kg/day vs 1.39 kg/day), final body weight at the end of the control period (FW) (724 kg vs 673 kg) and daily feed intake (FI) (9.84 kg/day vs 9.46 kg/day). The young bulls fattened with the corn silage had a significant higher FCE (0.166 kg/kg DM vs 0.147 kg/kg DM). However, a strong interaction was observed between the cohort and the diet. The observed variability of grass silage quality, according to harvest conditions and dates, could have impacted animal performances. The genetic analyses showed a moderate heritability on the three feed efficiency criteria (0.18 for FCE and 0.22 for RFI and RDG). No genetic correlations were found between RFI and RDG or between RFI and FCE, but a strong correlation exists between FCE and RDG (1.00). Moreover, RFI was genetically correlated with the daily feed intake (0.79), average daily gain (ADG) (0.57) and the final weight at the end of the control period (FW) (0.43). FCE and RDG are strongly correlated with ADG (0.79 and 0.75 respectively) and moderately with the FI (0.31 and 0.23, respectively) and the FW (0.35 and 0.26 respectively). Genetic correlations estimated between the bulls in IC, fed with concentrates, and their offspring, fed with silage, were 0.58 for RFI, 0.82 for RDG and 0.77 for FCE. These results demonstrate that a genetic improvement of beef cattle is possible on this trait, through a genetic index combining feed efficiency and production criteria.

INTRODUCTION

La France est le premier pays producteur de viande bovine en Europe. Fournissant des produits carnés de haute valeur nutritive à partir de végétaux, cette production nécessite cependant l'utilisation de grandes quantités de ressources pour produire des protéines consommables par l'Homme. En effet, en France, l'élevage bovin est présent sur près de 40% de la surface agricole utile (IDELE, 2018). Ainsi, il existe une concurrence entre les populations humaines et animales sur l'utilisation des ressources alimentaires et des territoires, qui ne va que s'accroître dans les années à venir (FAO, 2012). D'autre part, au niveau national, l'élevage bovin a également un impact sur l'environnement. Il contribue pour environ 42% aux émissions nationales d'ammoniac et 10,4 % des émissions de gaz à effet de serre (IDELE, 2018). Les bovins doivent alors être capables de valoriser au maximum les surfaces agricoles herbagères qu'ils occupent, tout en assurant un haut niveau de production et en limitant i) l'utilisation d'aliments consommables par l'Homme et ii) les impacts environnementaux.

Afin de répondre à ces enjeux majeurs, les filières bovines doivent s'adapter au niveau des systèmes d'élevage pour élaborer de nouvelles conduites alimentaires moins concurrentielles avec l'alimentation humaine et limitant l'impact environnemental. Augmenter la part de fourrages dans la ration et diminuer l'apport de céréales correspondent ainsi à une adaptation au changement du contexte socio-économique mondial (Makkar and Beaver, 2013). En parallèle de l'évolution des systèmes, la sélection génétique doit s'axer sur le choix d'animaux plus efficaces dans la transformation des ressources alimentaires en produits animaux (Phocas et al, 2014).

Le travail réalisé a permis, pour la première fois en France, de faire des estimations de la relation génétique entre l'efficacité alimentaire des taureaux contrôlés en station et celle des jeunes bovins en engraissement. Pour étudier la faisabilité d'une sélection sur l'efficacité alimentaire, un des objectifs du programme BEEFALIM 2020 est de comprendre les déterminants physiologiques et génétiques de ce caractère chez les jeunes bovins (JB) en engraissement.

1. MATERIEL ET METHODES

Pour constituer la base de données de travail, des essais zootechniques d'engraissement de jeunes bovins (n=588) de races charolaises ont été menés entre 2015 et 2019. Ces essais ont été conduits par i) l'Institut de l'Élevage en partenariat avec la Chambre d'Agriculture (CA) de Bretagne à la ferme expérimentale de Mauron (4 séries), avec la CA de Saône-et-Loire à la ferme expérimentale de Jalogny (3 séries) et avec la CA de Vendée à la ferme expérimentale des Etablères (3 séries), ii) l'INRAE à la station expérimentale de Theix (2 séries).

| | Ration « amidon » | Ration « cellulose » |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| Composition (en % MS) | Ens. de maïs | 62 |
| | Ens. d'herbe | - |
| | Paille | 5 |
| | Blé | 20 |
| | Pulpe de betterave | - |
| | Soja | 12 |
| Valeurs alimentaires | UFV/kg MS | 0,91 |
| | PDIE/UFV | 107 |
| | PDIN/UFV | 100 |

Tableau 1 Caractéristiques moyennes des rations utilisées

L'ensemble des jeunes bovins ont été nourris ad libitum sur deux régimes contrastés (Tableau 1), à base d'ensilage de maïs (ration amidon) ou d'ensilage d'herbe (ration cellulose).

Pour avoir une ration performante pour l'engraissement de jeunes bovins, une attention particulière a été portée à la qualité des ensilages utilisés. Les valeurs alimentaires des ensilages récoltés sont présentées dans le tableau 2.

| Ration | %MS | UFV/kg MS | PDIE/kg MS | PDIN/kg MS |
|-----------|--------------------|--------------|---------------|---------------|
| Amidon | Moy. | 36 | 0,83 | 68 |
| | Ecart-type (ET) | 5 | 0,04 | 3 |
| Cellulose | Moy. | 35 | 0,80 | 72 |
| | Ecart-type (ET) | 10 | 0,08 | 7 |

Tableau 2 Caractéristiques moyennes des ensilages utilisés

Les animaux ont été choisis sur leur ascendance paternelle. Pour cela, une liste de 26 taureaux d'intérêt a été définie, parmi les taureaux évalués en stations de contrôle individuel (CI) par les deux entreprises de sélection, Gènes Diffusion et Charolais Unifers. L'allotement des animaux a été réalisé suivant l'âge et le poids à l'entrée en station, en assurant un bon équilibre des origines paternelles sur les deux régimes. Les animaux ont été abattus à un poids de carcasse objectif de 420 kg. Les données ont été collectées à l'échelle de l'individu. Les analyses de l'efficacité alimentaire ont été réalisées sur une même durée pour tous les animaux d'une même série. Pour cela, les durées d'engraissement ont été tronquées en utilisant la date de sortie des premiers animaux finis pour chaque série. Ainsi, seule subsistait une variabilité inter-série de la durée de contrôle, dépendante de l'environnement de la série et non du choix lié au régime utilisé et de la fin de l'engraissement.

Trois indicateurs de l'efficacité alimentaire ont été étudiés :

- L'efficacité de conversion alimentaire (EA), qui est le rapport entre la croissance de l'animal (kg/j) et la quantité d'aliment consommée en matière sèche (kg MS/j).
- La consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR), qui est la différence entre la quantité d'aliment réellement ingérée par un JB et la quantité d'aliment ingérée théorique, calculée en prenant en compte, son poids métabolique et sa croissance.
- Le gain moyen quotidien résiduel (GMQR), qui est la différence entre la croissance réellement observée et la croissance théorique, calculée en prenant en compte, le poids métabolique de l'animal et sa consommation.

La différence entre les deux régimes a été étudiée sur les phénotypes suivants : la consommation moyenne journalière (CMJ), le gain moyen quotidien (GMQ) et l'EA. Elle a été étudiée au moyen d'un modèle ANOVA incluant l'effet du régime et le groupe de contemporains. Les corrélations phénotypiques ont été calculées en corrigeant au préalable les phénotypes de l'effet groupe de contemporains, de l'âge en début de contrôle en covariable et de l'effet aléatoire de l'élevage de naissance combiné à la campagne.

Les paramètres génétiques ont été estimés via le logiciel WOMBAT (Meyer, 2007) avec un modèle animal contenant le groupe de contemporains en effet fixe, l'âge au début de contrôle en covariable, la ferme d'origine, l'effet génétique et la résiduelle en effets aléatoires.

2. RESULTATS

2.1. PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES OBSERVEES SUR LES DEUX RATIONS

Sur l'ensemble de la période de contrôle, le régime amidon a permis de réaliser une croissance de 1,62 kg/j contre 1,39 kg/j pour le régime cellulose (Tableau 3). Cette différence de 230 g/j est significative. De plus, les animaux nourris à l'ensilage de maïs ont significativement consommé plus d'aliments (9,84 kg MS contre 9,46 kg MS) sur la période de contrôle. A âge identique, ils ont donc terminé la phase de contrôle avec un poids final plus élevé (724 kg contre 673 kg). Les animaux nourris avec l'ensilage de maïs ont aussi été plus efficaces selon le critère EA. Ainsi, avec le régime amidon, les jeunes bovins ont réalisé 19 g de plus pour 1 kg MS ingéré. Les efficacités alimentaires sont alors de 0,166 kg/kg MS et 0,147 kg/kg MS, respectivement pour le régime amidon et cellulose.

| Ration | Amidon | Cellulose | P.value |
|--------------------|--------|-----------|---------|
| Age début (j) | 302 | 304 | NS |
| Age fin (j) | 505 | 507 | NS |
| Durée contrôle (j) | 203 | 203 | NS |
| Conso. (kg MS/j) | 9,84 | 9,46 | 0,003 |
| Poids début (kg) | 396 | 390 | NS |
| Poids fin (kg) | 724 | 673 | <0,0001 |
| GMQ (g/j) | 1,62 | 1,39 | <0,0001 |
| EA (kg/kg MS) | 0,166 | 0,147 | <0,0001 |

Tableau 3 Performances moyennes de croissance et de consommation des jeunes bovins étudiés.

A l'échelle individuelle, une forte variabilité individuelle des performances est observée comme le montre la Figure 1. Alors que l'EA des deux lots confondus (en ordonnée) peut varier de 0,083 à 0,238 kg/kg MS (ET de 0,026), les croissances peuvent varier de 0,717 à 2,253 kg/j (ET de 0,286). De plus, au sein d'un même lot, le même constat apparaît avec une amplitude un peu plus faible. L'importante variabilité individuelle observée permet d'émettre l'hypothèse qu'une sélection génétique sur l'efficacité alimentaire est possible. Cette variabilité se retrouve sur les critères d'efficacité exprimés en CMJR et GMQR avec des ET respectifs de 0,446 et 0,129.

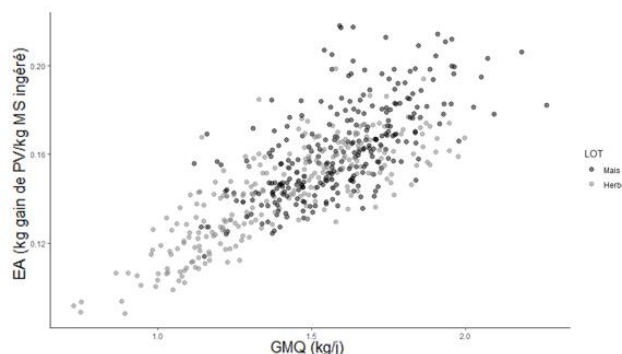


Figure 1. Lien entre l'efficacité alimentaire EA (en ordonnée) et la vitesse de croissance (en abscisse) des jeunes bovins engraisés sur deux rations contrastées

2.2. ESTIMATION DES PARAMETRES GENETIQUES

Les corrélations génétiques estimées entre les taureaux de CI, nourris avec un aliment condensé, et leurs descendants, nourris à l'ensilage, sont de $0,58 \pm 0,24$ pour la CMJR, $0,82 \pm 0,33$ pour le GMQR et $0,77 \pm 0,38$ pour l'EA.

Les analyses génétiques, présentées dans le Tableau 4, montrent une héritabilité modérée pour la CMJ, le GMQ et le poids en fin de période de contrôle (PF) (respectivement 0,33, 0,35 et 0,20). Les trois critères d'efficacité alimentaire ont une héritabilité un peu plus faible, de 0,18 pour l'EA à 0,22 pour la CMJR et le GMQR.

On observe des corrélations phénotypiques et génétiques élevées entre la CMJ, le GMQ et le PF ($>0,67$). De très fortes corrélations ont été trouvées entre l'EA et le GMQR (0,98 phénotypiquement et 1,00 génétiquement). Aucune corrélation génétique n'a été observée entre la CMJR d'une part et le GMQR ou l'EA, alors que les relations phénotypiques étaient négatives, -0,48 et -0,54 respectivement.

On note également que la CMJR est corrélée génétiquement avec la CMJ (0,79), le GMQ (0,47) et le PF (0,43) alors que phénotypiquement, elle est uniquement corrélée à la CMJ (0,58). Le GMQR et l'EA sont fortement corrélés génétiquement avec le GMQ (respectivement 0,80 et 0,76) et non significativement corrélés avec la CMJ ou le PF malgré des corrélations positives (entre 0,23 et 0,35). Phénotypiquement ces deux critères d'efficacité sont principalement corrélés au GMQ (respectivement 0,75 et 0,67) et dans une moindre mesure au PF (respectivement 0,29 et 0,21).

3. DISCUSSION

Que ce soit sur les ingestions, les GMQ ou les efficacités alimentaires, les moyennes présentées précédemment sont associées à une forte variabilité entre séries, liée à la qualité des fourrages récoltés. Cette variabilité est surtout visible sur la qualité des ensilages d'herbe rapportée dans le Tableau 2, avec des écart-types élevés pour la MS et les valeurs alimentaires. Tandis que pour les ensilages de maïs, elle est deux fois moins importante. La qualité des ensilages de maïs, plutôt homogènes, a conduit à des performances comparables entre années, alors que la qualité des ensilages d'herbe a pu varier fortement et influencer les ingestions, la croissance et donc l'efficacité alimentaire d'une série à l'autre. Ainsi, pour le lot cellulose, des différences significatives entre la première et la deuxième bande engraisée à Jalogny ont été observées, sur le GMQ (respectivement 1,130 kg/j et 1,680 kg/j) ou encore l'EA (respectivement 0,113 et 0,150). On peut alors supposer que les animaux nourris avec ces ensilages de moins bonne qualité n'ont pas exprimé entièrement leur potentiel génétique, ce qui pourrait avoir un impact sur le classement des animaux.

Il faut noter que l'ensemble des résultats zootechniques présentés ci-dessus ont été fait sur une période de contrôle comme défini dans l'article, c'est-à-dire avec une durée unique intra-série pour les JB, qu'ils soient alimentés à

| | CMJ | GMQ | PF | CMJR | GMQR | EA |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| CMJ | 0,33 ± 0,14 | 0,82 ± 0,12 | 0,89 ± 0,08 | 0,79 ± 0,16 | 0,31 ± 0,32 | 0,23 ± 0,36 |
| GMQ | 0,67*** | 0,35 ± 0,14 | 0,81 ± 0,13 | 0,47 ± 0,13 | 0,80 ± 0,13 | 0,76 ± 0,17 |
| PF | 0,82*** | 0,77*** | 0,20 ± 0,12 | 0,43 ± 0,35 | 0,35 ± 0,35 | 0,26 ± 0,40 |
| CMJR | 0,58*** | 0,01 NS | 0,01 NS | 0,22 ± 0,35 | -0,04 ± 0,35 | -0,08 ± 0,37 |
| GMQR | 0,01 NS | 0,75*** | 0,29*** | -0,48*** | 0,22 ± 0,11 | 1,00 ± 0,01 |
| EA | -0,09* | 0,67*** | 0,21*** | -0,54*** | 0,98*** | 0,18 ± 0,10 |

Tableau 4. Héritabilité (en diagonale) et corrélations génétiques (au-dessus de la diagonale) et corrélations phénotypiques * significatives à 5% ou *** significatives à 0,1% (en dessous de la diagonale) entre les caractères de production et les critères d'efficacité alimentaire chez les taurillons

l'ensilage d'herbe ou à l'ensilage de maïs. Par ailleurs, des bilans sur l'ensemble de la période d'engraissement ont également été réalisés. Dans ce cas, avec une décision d'abattage pour atteindre un poids carcasse objectif de 420kg, la durée d'engraissement des JB alimentés sur le régime cellulose a été rallongée de 26 jours. Les différences entre les deux régimes sont alors moins marquées. En effet, les animaux nourris avec le régime cellulose maintiennent leurs performances plus longtemps et se rapprochent du régime amidon, sans pour autant les rattraper en fin d'engraissement. On observe ainsi un écart sur le GMQ entre les deux lots de 0,16 kg/j contre 0,23 kg/j sur l'ensemble de la période de contrôle. Cet écart sur le GMQ reste significatif, alors que les consommations deviennent similaires sur l'ensemble de la durée de l'engraissement, avec 9,8 et 9,7 kg MS/j, respectivement pour les régimes amidon et cellulose. En conséquence les efficacités alimentaires restent significativement différentes à 0,164 et 0,147 kg/kg pour ces deux régimes.

Les corrélations génétiques estimées entre les taureaux de CI, nourris avec un aliment condensé, et leurs descendants, nourris à l'ensilage sont du même ordre de grandeur que celles estimées entre des taureaux de CI et leurs descendants tous nourris avec le même aliment condensé : $0,80 \pm 0,18$ pour la CMJR, $0,70 \pm 0,21$ pour le GMQR et $0,46 \pm 0,20$ pour l'EA (Taussat et al. 2019). Ainsi, que ce soit avec un même aliment ou des aliments différents, cette relation génétique marquée indique que l'interaction entre l'efficacité alimentaire et le régime ne serait pas limitante dans le choix du phénotypage des animaux pour sélectionner ce caractère.

Malgré un dispositif expérimental assez important, l'utilisation de deux régimes différents sur un effectif de 588 jeunes bovins a pu entraîner des erreurs standard des corrélations génétiques estimées un peu élevées, mais conformes à la littérature. L'analyse du déterminisme génétique de l'efficacité alimentaire a tout de même montré que les trois critères d'efficacité alimentaire, ainsi que les trois critères de production étudiés, étaient modérément héréditaires. Une amélioration génétique du troupeau allaitant pour ce caractère est donc possible via un index de sélection combinant les critères d'efficacité et de production. De plus, il est possible de réaliser cette amélioration à partir des taureaux contrôlés en stations de CI, car les corrélations génétiques estimées sont suffisamment élevées pour permettre un progrès génétique.

Cependant, des relations génétiques non favorables ont été mises en évidence lors de cette étude. Compte tenu de la corrélation génétique positive entre le CMJR et GMQ, il n'est pas souhaitable de pratiquer une sélection sur la seule CMJR pour ne pas dégrader la croissance. Le même constat a été observé pour le GMQR ou l'EA qui entraînerait une augmentation de l'ingestion des animaux. Cependant, sur ces critères, les erreurs standards des corrélations génétiques estimées sont importantes. Ces résultats montrent que la CMJR et le GMQR peuvent avoir des relations génétiques avec les caractères qui composent leurs régressions et vont dans le sens de la littérature (Berry et Crowley, 2013). La CMJR doit être sélectionnée conjointement avec le GMQR dans un index de sélection si l'objectif est d'améliorer l'efficacité et la vitesse de croissance.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'estimer l'héritabilité de l'efficacité alimentaire, ainsi que les relations phénotypiques et génétiques entre les performances de jeunes bovins

alimentés avec deux rations contrastées et celles de leur père en station CI. L'effet du type de régime sur l'efficacité alimentaire est présent mais reste toutefois assez limité. Cela offre la possibilité de phénotyper et d'imaginer un schéma de sélection sur l'efficacité alimentaire. Les travaux continuent donc pour tester une équation génomique se basant sur une population de référence composée des jeunes bovins de BEEFALIM 2020 et des taureaux charolais contrôlés en station CI.

Cette étude a reçu un financement de la part du CASDAR et d'APIS-GENE dans le cadre du programme BEEFALIM 2020. Les auteurs remercient tout particulièrement l'ensemble des personnels des quatre fermes expérimentales ayant contribué à cette étude : la station expérimentale des Etablères, la station expérimentale de Mauron, la station expérimentale de Jalogny ainsi que la station expérimentale de Theix.

Berry D.-P. & Crowley J.-J., Cell biology symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle, *Journal of Animal Science*, Volume 91, Issue 4, April 2013, Pages 1594–1613

FAO, FAO symposium: Optimization of feed use efficiency in ruminants production systems, 27 November 2012

IDELE, Elevage bovin et environnement- les chiffres clés, 2018

Makkar H.-P.-S. & Beever D., Towards sustainable animal diets, FAO and Asian-Australasian Association of Animal Production Societies, Volume 16, 2013, p. 67–74.

Phocas F., Agabriel J., Dupont-Nivet M., Geurden I., Médale F., Mignon-Grasteau S., Gilbert H., Dourmad J.-Y., Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficacité des productions animales. *INRA Prod Animales*, Volume 27, Issue 3, 2014, p. 235-248

Taussat S., Saintilan R., Krauss D., Maupetit D., Fouilloux M.-N., Renand G., Relationship between feed efficiency and slaughter traits of French Charolais bulls, *Journal of Animal Science*, Volume 97, Issue 6, June 2019, p. 2308–2319