EFFI-J – Phénotypage de l'efficience alimentaire de jeunes bovins Charolais, engraissés avec des rations contrastées à base d'amidon ou de cellulose

Clément Fossaert, Sébastien Taussat, Gonzalo Cantalapiedra-Hijar, Gilles Renand, S. Brouard

▶ **To cite this version:**

Clément Fossaert, Sébastien Taussat, Gonzalo Cantalapiedra-Hijar, Gilles Renand, S. Brouard. EFFI-J – Phénotypage de l'efficience alimentaire de jeunes bovins Charolais, engraissés avec des rations contrastées à base d'amidon ou de cellulose. Innovations Agronomiques, 2021, 82, pp.110-123. 10.15454/75v5-g423 . hal-03404595

HAL Id: hal-03404595
https://hal.inrae.fr/hal-03404595

Submitted on 26 Oct 2021

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

EFFI-J – Phénotypage de l'efficience alimentaire de jeunes bovins Charolais, engraissés avec des rations contrastées à base d'amidon ou de cellulose

Fossaert C.[1], Taussat S.[2,3], Cantalapiedra-Hijar G.[4], Renand G.[2], Brouard S.[5], Dechaux T.[6], Griffon L.[6]

[1] Institut de l'élevage, F-35652 Le Rheu

[2] Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, GABI, F-78350, Jouy-en-Josas

[3] Allice, F-75012 Paris

[4] INRAE, Université Clermont Auvergne, Vetagro Sup, UMRH, F-63122, Saint-Genès-Champanelle

[5] Institut de l'élevage, F-87000 Limoges

[6] Institut de l'élevage, F-75595 Paris

Correspondance : clement.fossaert@idele.fr

Résumé

Sélectionner sur l'efficience alimentaire est un enjeu important pour les éleveurs bovins allaitants. Pour étudier sa faisabilité, 588 jeunes bovins ont été engraissés dans quatre stations expérimentales, de 2015 à 2019, avec de l'ensilage de maïs ou d'herbe *ad libitum*. L'efficience de conversion des aliments (EA) était supérieure chez les animaux engraissés avec l'ensilage de maïs (0,164 kg/kg MS contre 0,146 kg/kg MS) lié à des croissances élevées. Les animaux efficients valorisaient mieux l'azote alimentaire et avaient une abondance naturelle en ^{15}N dans le plasma moindre. Les analyses génétiques ont montré que l'efficience alimentaire est héritable, mais certaines corrélations sont non favorables avec les performances. Une amélioration génétique du troupeau allaitant est possible via un index de sélection combinant efficience alimentaire et production.

Mots-clés : Bovin viande, conduite alimentaire, biomarqueurs, sélection génétique, génomique.

Abstract: Feed efficiency phenotyping of Charolais young bulls, fattened with contrasted diet based on either corn or grass silage

Improving feed efficiency is an important issue for beef producers. To study its feasibility, 588 Charolais young bulls were fattened in four experimental stations, from 2015 to 2019, with either corn silage or grass silage. Feed conversion efficiency (FCE) was higher for animals fattened with corn silage (0,164 kg/kg MS vs 0,146 kg/kg MS). Efficient animals better used diet nitrogen and had a lower natural abundance of ^{15}N in plasma. Genetic study showed that feed efficiency is heritable, but some correlations were unfavorable with performance traits. A genetic selection of beef cattle is possible with a selection index that combined both feed efficiency and production.

Keywords: Beef cattle, feeding management, biomarkers, genetic selection, genomic.

Introduction

- *Contexte*

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 *(1)* l'utilisation d'aliments consommables par l'Homme et *(2)* 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 correspond ainsi à une adaptation au changement du contexte socio-économique mondial (Makkar et Beever, 2013). En parallèle de l'évolution des systèmes, la sélection génétique doit s'axer sur le choix d'animaux plus efficients dans la transformation des ressources alimentaires en produits animaux (Phocas *et al*., 2014).

- *Objectifs du projet*

L'objectif principal du projet EFFI-J (sous-projet du programme de recherche BEEFALIM 2020) est ainsi de mettre au point une méthode de phénotypage individuel à grande échelle de l'efficience alimentaire des jeunes bovins (JB) en engraissement, avec des rations contrastées à base d'amidon (maïs) ou de cellulose (herbe), afin de répondre aux finalités suivantes :

- Comprendre les déterminants physiologiques de l'efficience alimentaire sur des JB en engraissement pour améliorer et diversifier les conduites alimentaires ;
- Dégager une stratégie de sélection de l'efficience alimentaire et préparer la sélection génomique de cette efficience alimentaire en bovin viande.

Pour cela, le projet EFFI-J a mis en œuvre des nouvelles technologies de phénotypage (pesées automatiques, analyses d'images, analyses de spectres infra-rouge, analyses isotopiques) pour obtenir des indicateurs de l'efficience alimentaire des JB à l'engraissement, applicables sur de grands effectifs tant en fermes expérimentales que dans le cadre des programmes de sélection. Le support racial choisi est la race Charolaise, mais les résultats de ce projet ont pour vocation d'être génériques et appliqués ensuite aux autres races.

- *Partenaires du projet*

Les partenaires du projet sont les suivants :

- Partenaires techniques impliqués dans la réalisation du projet (destinataires de financements CASDAR, avec lettre d'engagement) :
  - Institut de l'Elevage (Idele)
  - Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne (station expérimentale bovine de Mauron, Morbihan)
  - Chambre d'Agriculture de Vendée (ferme expérimentale des Etablières)
  - Chambre d'Agriculture de Saône et Loire (ferme expérimentale de Jalogny)
  - INRAE, Centre de Theix (UMR1213 Herbivores)
  - Allice (ex UNCEIA)
- Autres partenaires techniques (hors financements CASDAR) :
  - INRAE, UMR 1313 GABI (Génétique Animale et Biologie Intégrative)
  - Entreprise de sélection charolaise (ES) Union Gènes Diffusion
  - Entreprise de sélection charolaise (ES) Charolais Univers, Site de Marmilhat

- Partenaires associés au comité de pilotage du projet : le projet associe des unités mixtes technologiques (UMT) :
  - UMT SeSAM « services rendus par les systèmes allaitants multiperformants », regroupant l'INRAE UMRH de Theix, IFCE, VetAgro-Sup Clermont-Ferrand et l'Institut de l'Elevage
  - UMT eBIS, regroupant l'INRAE UMR GABI, Allice et l'Institut de l'Elevage.
- Partenaires financiers :
  - APIS-GENE
  - Le compte d'affectation spécial « Développement agricole et rural » (CASDAR)

1. Matériel et Méthodes

1.1 Des essais en stations expérimentales

Afin de constituer la base de données de travail, des essais zootechniques d'engraissement de jeunes bovins ont été menés entre 2015 et 2019. Ces essais ont été conduits par *(1)* l'Institut de l'Elevage 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 Etablières (3 séries), *(2)* INRAE à la station expérimentale de Theix (2 séries). Les huit premières de ces douze bandes ont été réalisées dans le cadre du CASDAR EFFI-J, sous-projet du programme de recherche BEEFALIM 2020.

1.1.1 Le matériel animal et alimentaire

Au total, 588 Jeunes bovins Charolais ont été engraissés et phénotypés. 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 Univers. 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.

L'ensemble des jeunes bovins a été nourri *ad libitum* sur deux régimes contrastés, à base d'ensilage de maïs (ration amidon) ou d'ensilage d'herbe (ration cellulose) (Figure 1). L'objectif était d'avoir deux rations contrastées sur l'amidon et la cellulose. Pour ce faire, en plus du blé et du tourteau de soja, il a été décidé d'utiliser de la pulpe de betterave comme complément énergétique pour la ration cellulose (« Bette » sur le graphique). Dans les deux rations, le pourcentage de concentré maximum était fixé à 35 %.

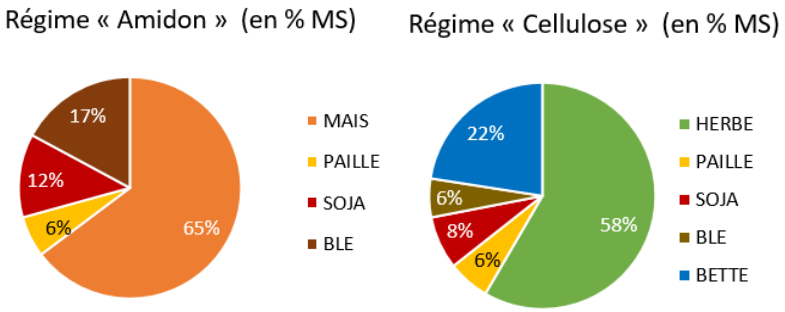


Figure 1 : Caractéristiques moyennes des rations utilisées

1.1.2 Les mesures réalisées sur les aliments

Des analyses de la composition chimique des aliments et de leur valeur alimentaire ont été réalisées sur tous les aliments composant les rations. Les quantités ingérées ont été mesurées à l'échelle de l'individu via un dispositif d'auges peseuses. Des mesures de teneur en matière sèche (MS) ont été réalisées sur les aliments distribués chaque semaine.

1.1.3 Les mesures réalisées sur les animaux, les carcasses et les viandes

Des pesées régulières ont été réalisées sur les animaux tout au long de l'essai (double pesée à la mise en lot, en début d'essai et avant l'abattage, et simple pesée au minimum tous les 30 jours en cours d'engraissement).

Les animaux ont été abattus à un poids de carcasse objectif de 420 kg. A l'abattoir, les poids de carcasses, la conformation et l'état d'engraissement des carcasses ont été relevés et les gras d'abattage ont été pesés.

1.1.4 Etude de l'impact de la ration sur l'efficience alimentaire

Des bilans zootechniques ont été réalisés pour chaque régime utilisé. La différence entre les deux régimes a été étudiée sur les phénotypes suivants : la consommation moyenne journalière (CMJ), le gain moyen quotidien (GMQ), l'efficience alimentaire et les qualités des carcasses produites. L'indicateur de l'efficience alimentaire étudié ici était l'efficience 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). Les deux lots ont été comparés au moyen d'un modèle ANOVA incluant l'effet du régime et le groupe de contemporains.

Les bilans ont été réalisés sur l'ensemble des animaux du projet, excepté pour la troisième bande engraissée sur la ferme expérimentale de Jalogny, dû à un incident sanitaire en fin d'engraissement.

1.2 Etude des composantes de l'efficience alimentaire

1.2.1 Relation entre l'efficience alimentaire et l'efficience de l'utilisation de l'azote

Etant donnée la complexité de mesurer l'efficience d'utilisation de l'azote, celle-ci a été évaluée sur un sous-dispositif du projet EFFI-J correspondant aux animaux phénotypés à l'unité INRAE de Theix (24 animaux).

L'efficience d'utilisation de l'azote a été calculée comme le rapport entre la protéine retenue dans l'animal sur la protéine alimentaire ingérée (matières azotées totales – MAT) et cela pour toute la période d'engraissement.

La protéine retenue a été calculée à partir de l'estimation de la composition corporelle de chaque individu au début et à la fin de l'engraissement.

- L'estimation de la composition corporelle au début de l'engraissement a été réalisée à partir de la taille des adipocytes prélevés par biopsie sous-cutanée dans la zone de la croupe de chaque animal, et les équations développées par Garcia et Agabriel (2008).
- L'estimation de la composition corporelle à la fin de l'engraissement a été réalisée à partir des données récoltées à l'abattoir (dont la dissection de la 6ème côte) et les équations proposées par Robelin et Geay (1975, 1978).

Finalement, l'ingestion de la matière azotée totale a été calculée en multipliant la MS ingérée et enregistrée par les auges peseuses par la teneur moyenne en MAT analysée de la ration distribuée.

L'abondance naturelle en ^{15}N des protéines de ces animaux a été mesurée dans différents tissus (dont le plasma) échantillonnés à l'abattoir ainsi que sur les régimes expérimentaux collectés tout au long de l'engraissement. Les mesures du rapport isotopique de ces échantillons ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre de masse à rapport isotopique couplé à un analyseur élémentaire (EA-irms) et les résultats exprimés en ‰ par rapport à un standard international.

1.2.2 Relation entre l'efficience alimentaire et la digestibilité de la matière organique

Dans l'objectif d'étudier la relation entre l'efficience alimentaire et la digestibilité de la matière organique, cette dernière a été prédite soit par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR), soit par analyse chimique.

Dans un premier temps, la prédiction à partir des spectres SPIR s'est appuyée sur une étude réalisée en parallèle du projet EFFI-J (projet Effitool plus), dont l'objectif était de confirmer la relation entre la digestibilité apparente de la ration et l'efficience alimentaire (De La Torre *et al*., 2019), puis d'évaluer le potentiel de la SPIR pour refléter la variabilité individuelle de la digestibilité. A partir d'échantillons de fèces prélevés sur 16 vaches Charolaises en lactation, des modèles d'étalonnage SPIR pour la digestibilité de la matière organique ont été obtenus.

La capacité de chaque individu du programme EFFI-J (n = 364) à digérer la matière organique (MO) de la ration a ensuite été estimée à partir des analyses chimiques des fèces (matière azotée totale (MAT) et MO) récoltées sur l'ensemble des animaux du dispositif EFFI-J en début et fin d'engraissement, et en appliquant l'équation proposée par Chenost (1985, dMO = 0,908 – 3,088/MAT%MO). Des relations entre la digestibilité de la MO prédite et le classement des animaux en fonction de leur efficience alimentaire exprimée par la consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR) ont ensuite été établies. Ce critère d'efficience est défini comme 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.

1.2.3 Relation entre l'efficience alimentaire et les émissions de méthane

Une méthode d'estimation des émissions de méthane (CH_4) a été proposée à partir des équations développées par INRAE (INRA, 2018) appliquée à l'échelle individuelle. Pour l'ensemble des individus du programme EFFI-J, ces prédictions de CH_4 ont été réalisées sur la base d'une estimation de la digestibilité individuelle de la matière organique (MO), et le niveau d'ingestion individuelle. L'estimation de la digestibilité de la MO a été faite à partir des analyses chimiques des fèces récoltées et en appliquant l'équation proposée par Chenost, comme drécrit précédement.

1.2.4 Relation entre l'efficience alimentaire et le comportement alimentaire

Les relations entre l'efficience alimentaire et le comportement alimentaire ont été analysées par l'étude des quatre composantes suivantes :

- Le temps passé à l'auge par jour ;
- La quantité ingérée par jour ;
- La vitesse d'ingestion ;
- Le nombre de repas par jour.

L'indicateur de l'efficience alimentaire étudié était exprimé par l'efficience de conversion alimentaire (EA).

Pour estimer la relation entre ces composantes et l'EA, des coefficients de corrélation ont été calculés. De plus des régressions linéaires simples ont été réalisées à l'aide du logiciel R. Comme pour les bilans zootechniques, ces analyses ont été faites sur l'ensemble des animaux du projet, excepté la troisième bande de la ferme expérimentale de Jalogny.

1.3 Etude des paramètres génétiques

Les analyses génétiques 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. De plus, cette méthode a permis d'intégrer l'ensemble des animaux du programme, y compris la troisième bande réalisée sur la ferme expérimentale de Jalogny, où seule la fin de l'engraissement a été impactée.

Trois indicateurs de l'efficience alimentaire ont été étudiés :

- L'efficience de conversion alimentaire (EA) ;
- La consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR) ;
- 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.

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. Des bilans zootechniques en faveur des animaux nourris avec la ration amidon, mais avec de fortes variabilités individuelles

2.1 Deux régimes comparables dans les apports mais contrastés sur leur composition

Comme vu précédemment, les rations utilisées étaient volontairement contrastées sur la teneur en amidon et en cellulose. Cependant, en moyenne, les deux rations étaient comparables sur leurs apports et en accord avec les recommandations pour l'engraissement de jeunes bovins (Tableau 1). La densité énergétique des rations était proche de 0,9 et le rapport PDI/UFV proche de 100 pour les deux lots.

Tableau 1 : Valeurs alimentaires des rations distribuées

Ration	% MS	UFV/kg MS	PDIE/UFV	PDIN/UFV
Amidon	47,1	0,91	107	104
Cellulose	47,8	0,88	99	107

2.2 Des performances zootechniques moyennes en faveur du lot amidon

Sur l'ensemble de la période d'engraissement, le régime amidon a permis de réaliser une croissance de 1 601 g/j contre 1 432 g/j pour le régime cellulose. Cette différence de 169 g/j est significative au seuil de 5 %. Les consommations moyennes journalières étaient quant à elles identiques à 9,84 kg MS/j. Ainsi, à même poids de carcasse final (respectivement 436 et 431 kg), les animaux nourris avec la ration amidon ont eu une durée d'engraissement plus courte qu'avec la ration cellulose (respectivement 224 contre 252 jours). Ils ont aussi été plus efficients selon le critère EA. Ainsi, les efficiences alimentaires étaient de 0,164 kg/kg MS et 0,146 kg/kg MS, respectivement pour le régime amidon et cellulose (Tableau 2).

Tableau 2 : Bilan des performances zootechniques (« NS » : non significatif)

Ration	Amidon	Cellulose	P value
Age début (j)	303	304	NS
Age fin (j)	527	556	<0,0001
Durée engraissement (j)	224	252	<0,0001
Conso. (kg MS/j)	9,84	9,84	NS
Poids début (kg)	387	386	NS
Poids fin (kg)	740	739	NS
GMQ (g/j)	1,60	1,43	<0,0001
EA (kg/kg MS)	0,164	0,146	<0,0001

2.3 Des carcasses produites comparables sur les deux lots

Les carcasses produites sont comparables pour les deux lots. Pour un poids de carcasse comparable, les différences observées sur les rendements (58,8 contre 58,2 % respectivement pour la ration amidon et la ration cellulose), l'état d'engraissement (2,8 contre 2,6) et la conformation (R+/U-) ne sont pas significatives (Tableau 3). De même, les pesées des gras (gras de rognon, bassin et parage) sur la ligne de découpe en abattoir n'ont pas montré de différences significatives pour les deux lots. Les gras pesés représentaient alors 2,07 % de la carcasse pour le lot amidon et 1,87 % pour le lot cellulose.

Tableau 3 : Bilan des qualités de carcasses

Ration	Amidon	Cellulose	P.value
Age à l'abattage (j)	527	556	<0,0001
Poids carcasse (kg)	436	431	NS
Rendement carcasse (%)	58,8	58,2	NS
Etat engraissement	2,8	2,6	NS
% gras	2,07	1,87	NS
Conformation	13 (U-)	12,8 (R+/U-)	NS

2.4 Une importante variabilité individuelle

A l'échelle individuelle, une forte variabilité individuelle des performances est observée (Figure 2). Alors que l'EA (en ordonnée) de l'ensemble des animaux peut varier de 0,083 à 0,238 kg/kg MS (Ecart-type (ET) de 0,026), les croissances peuvent varier de 0,717 à 2,253 kg/j (ET de 0,286). Ce constat se retrouve au sein d'un même lot. De plus, cette variabilité se confirme sur les critères d'efficience exprimés en CMJR et GMQR, avec des ET respectifs de 0,446 et 0,129. On note également que de très bonnes performances sont possibles avec la ration cellulose. En effet, certains animaux nourris avec la ration cellulose ont pu avoir des croissances à plus de 2 000 g/j, ainsi que des EA proches de 0,200 kg/kg MS, lorsque l'ensilage était de qualité. L'importante variabilité individuelle observée permet d'émettre l'hypothèse qu'une sélection génétique sur l'efficience alimentaire est possible.

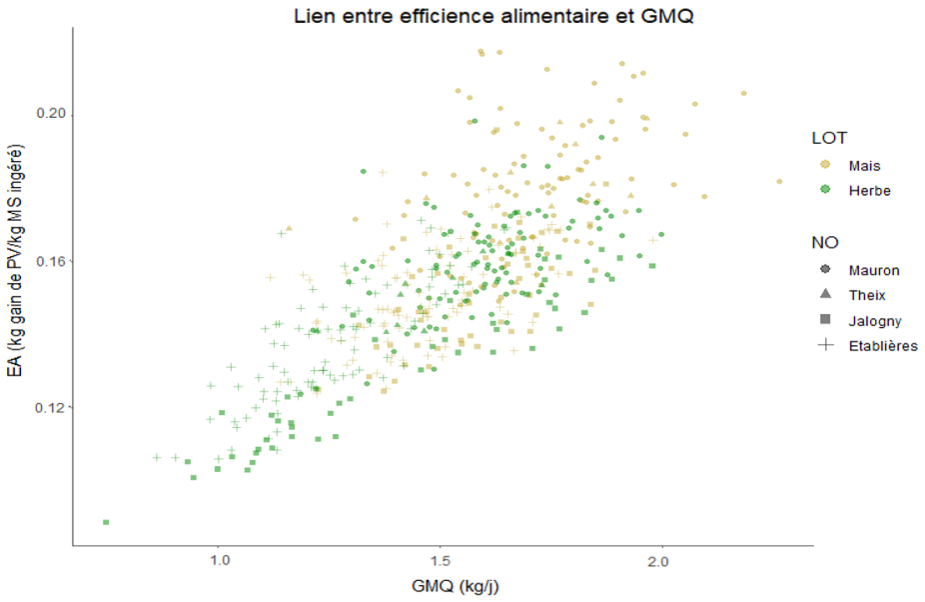


Figure 2 : Lien entre l'efficience alimentaire EA (en ordonnée) et la vitesse de croissance (en abscisse) des jeunes bovins engraissés sur deux rations contrastées

3. L'enrichissement naturel en ^{15}N, la digestibilité de la matière organique et le comportement alimentaire : trois composantes de l'efficience alimentaire

3.1 L'abondance naturelle en ^{15}N dans le plasma, un biomarqueur prometteur pour prédire l'efficience alimentaire

L'enrichissement naturel en ^{15}N des protéines animales a été proposé comme un biomarqueur des variations individuelles de l'efficience d'utilisation de l'azote chez le ruminant (Cantalapiedra-Hijar *et al*., 2018).

Sur nos essais, en moyenne, les animaux qui ont reçu le régime cellulosique riche en ensilage d'herbe ont montré une efficience d'utilisation de l'azote plus faible ($P < 0,01$) par rapport à ceux qui ont reçu un régime riche en amidon, à base d'ensilage de maïs (0,160 g/g *vs* 0,186 g/g). Au niveau individuel, nous avons mis en évidence une forte corrélation entre l'efficience d'utilisation de l'azote et l'efficience alimentaire chez les animaux alimentés avec un régime à base d'ensilage de maïs, mais une très faible corrélation avec un régime à base d'ensilage d'herbe (Figure 3).

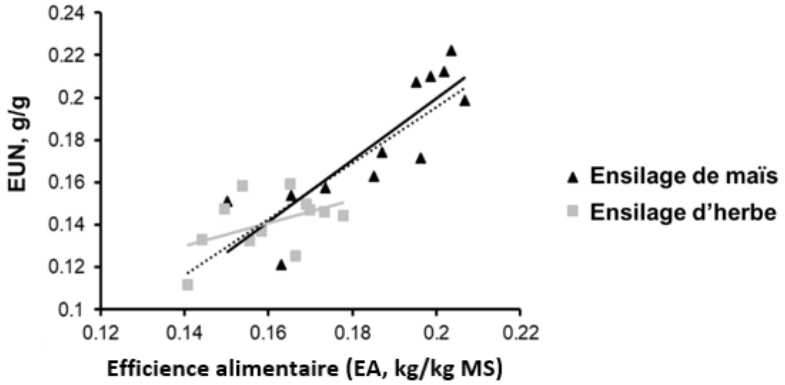


Figure 3 : Relation entre l'efficience d'utilisation de l'azote (EUN, g/g) et l'efficience alimentaire

Lorsque ces analyses isotopiques ont été élargies à l'ensemble des animaux phénotypés dans le projet ($n = 588$), les résultats montrent une corrélation significative ($P < 0,001$) entre l'enrichissement naturel en ^{15}N des protéines plasmatiques des animaux et leur classement d'efficience alimentaire (EA et CMJR ; Figures 4 et 5), avec de nouveau un meilleur ajustement avec des régimes à base d'ensilage de maïs par rapport à ceux à base d'ensilage d'herbe sur le critère EA. L'ensemble de ces résultats ouvre la porte à l'identification rapide des animaux les plus efficients, sans nécessiter un contrôle strict de l'ingestion et des performances pendant de longues périodes.

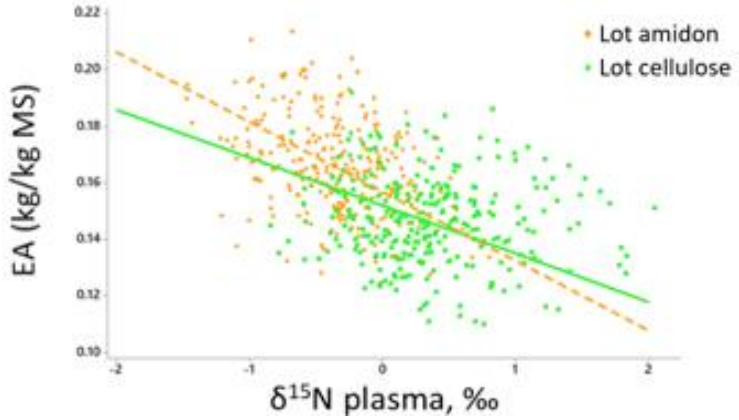


Figure 4 : Relation entre l'efficience alimentaire (FCE, kg/kg) et l'enrichissement naturel en ^{15}N des protéines plasmatiques ($\delta^{15}N$ plasma, ‰) chez le jeune bovin en engraissement

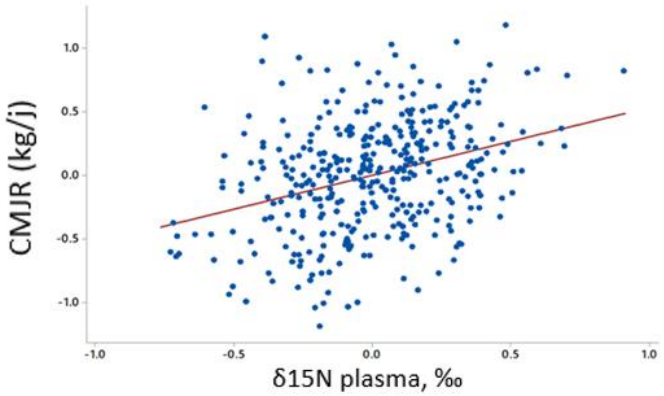


Figure 5 : Relation entre l'efficience alimentaire (CMJR, kg/j) et l'abondance naturelle en ^{15}N des protéines plasmatiques ($\delta^{15}N$ plasma, ‰) chez le jeune bovin en engraissement

3.2 Des animaux efficients avec une meilleure digestibilité de la matière organique mais qui émettent aussi plus de méthane par unité d'ingestion

3.2.1 Des animaux efficients avec une meilleure digestibilité de la matière organique

Des travaux récents ont montré que la digestibilité apparente de la ration est associée à la variabilité individuelle de l'efficience alimentaire (Cantalapiedra-Hijar *et al*., 2018 ; Liu et VandeHaar, 2020). Pour étudier cette relation, la digestibilité apparente de la ration a été prédite, soit à partir de spectres SPIR, soit à partir d'une analyse chimique.

Les spectres SPIR obtenus étant trop éloignés de ceux utilisés pour développer le modèle de prédiction décrit précédemment, la digestibilité de la matière organique n'a pas pu être correctement prédite via cette méthode.

Cependant, des prédictions ont pu être obtenues à partir des analyses chimiques. Les résultats montrent un lien significatif (P = 0,03) bien que faible (r = -0,11 ; Figure 6) entre la digestibilité prédite par les analyses chimiques des fèces (MAT et MO) et l'efficience alimentaire exprimée par la CMJR. Bien qu'il s'agisse d'une digestibilité prédite et non pas mesurée, nos résultats suggèrent que les animaux les plus efficients (CMJR négative) ont une digestibilité légèrement supérieure par rapport aux animaux moins efficients (CMJR positive). Nos résultats convergent avec la plupart des études montrant un lien faible entre digestibilité et variabilité individuelle de l'efficience alimentaire, probablement influencé par les différences d'ingestion (voir synthèse de Cantalapiedra-Hijar *et al*., 2018).

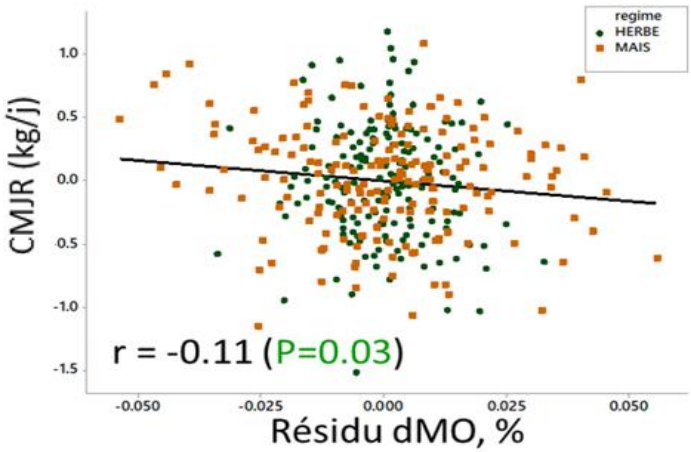


Figure 6 : Relation entre la CMJR et le résidu de la digestibilité de la matière organique

3.2.2 Une meilleure digestibilité qui entraîne plus d'émissions de méthane

L'émission de CH_4 prédite à partir de la composition chimique des fèces des animaux (MAT et MO) montre une corrélation significative (P < 0,01) avec le classement des animaux quant à leur CMJR autant exprimé en quantité journalière que par unité d'ingestion (kg MS) (Figure 7). Néanmoins, le signe de cette relation est différent selon le mode d'expression de l'émission de CH_4 : les animaux les plus efficients (CMJR négative) émettent moins de CH_4 résiduel journalier (g CH_4/j ; r = 0,35) par rapport aux animaux gaspilleurs (CMJR positive) mais davantage lorsque le CH_4 est exprimé par rapport à l'ingéré (g CH_4/kg MS ingéré ; r = -0,50). Il semblerait ainsi que la meilleure digestibilité observée précédemment entraine une meilleure valorisation de l'aliment mais aussi une plus forte production de méthane par unité d'ingestion. Cependant, les animaux les plus efficients sur la CMJR, ayant des ingestions journalières en moyenne plus faibles, leur production de méthane par jour est inférieure. Ces résultats, bien qu'obtenus à partir des estimations indirectes, convergent avec des études récentes montrant que les animaux efficients émettent plus de CH_4 par unité d'aliment ingéré (voir synthèse de Cantalapiedra-Hijar *et al*., 2018).

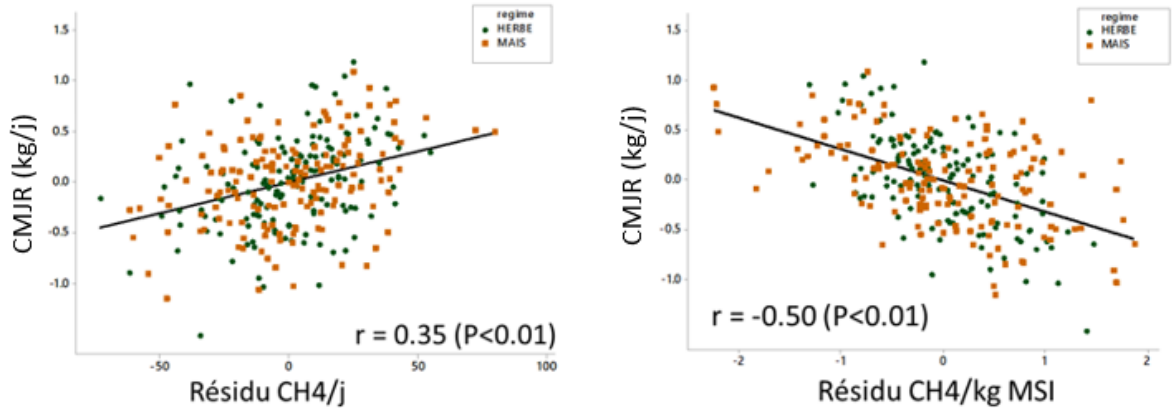
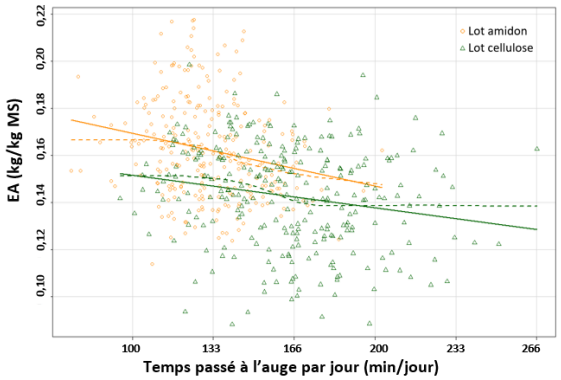
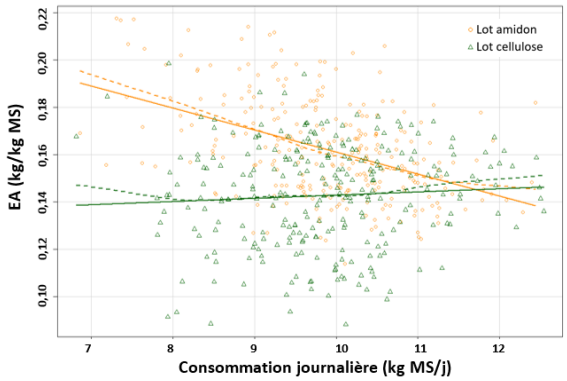
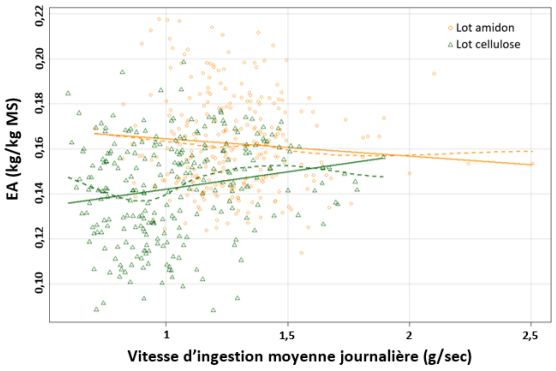
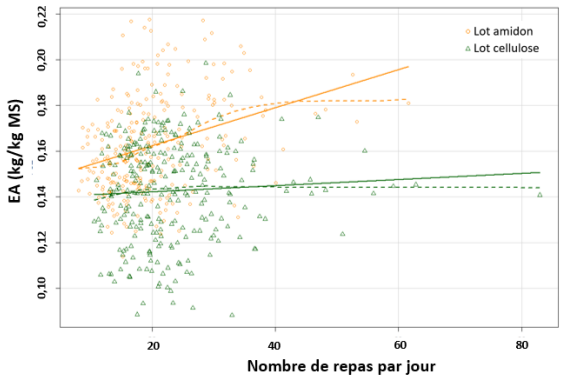


Figure 7 : Relation entre la variabilité individuelle de l'efficience alimentaire (CMJR) et de l'émission de méthane (en g/j ou par kg MS ingéré) chez de jeunes bovins Charolais alimentés avec deux régimes contrastés. Les valeurs d'émission de méthane sont exprimées comme résidus pour illustrer la variabilité existant au sein d'une même station et période.

3.3 Des relations entre l'efficience alimentaire et le comportement alimentaire significatives mais avec de faibles corrélations

L'ensemble des résultats obtenus est synthétisé dans la Figure 8 ci-dessous :

Durée à l'auge journalière (Sec/jour)				Consommation journalière (g MS/j)			
							
	Total	**Mais**	**Herbe**		**Total**	**Mais**	**Herbe**
r	-0,373	-0,212	-0,195	r	-0,158	-0,443	0,064
P.value	**< 0,01**	**< 0,01**	**< 0,01**	P.value	**< 0,01**	**< 0,01**	0,29

Vitesse d'ingestion (g/sec)	Nombre de repas par jour
	

	Total	Mais	Herbe		Total	Mais	Herbe
r	0,228	-0,084	0,187	r	0,084	0,314	0,055
P.value	**< 0,01**	0,16	**< 0,01**	P.value	0,06	**< 0,01**	0,34

Figure 8 : Lien entre l'efficience alimentaire EA (FCE) et comportements alimentaires

Les analyses montrent des corrélations significatives (P < 0,01) entre l'EA et la consommation journalière, la durée d'ingestion et la vitesse d'ingestion. De plus, une tendance est observée entre l'EA et le nombre de repas par jour (P = < 0,06). Ainsi, en général, les animaux les plus efficients sur l'EA consomment moins d'aliment par jour, passent moins de temps à l'auge par jour et ont une vitesse d'ingestion plus élevée. Ils auraient également tendance à prendre plus de repas par jour. Cependant, les coefficients de corrélation obtenus sont très faibles, signifiant que les liens entre le comportement alimentaire et l'efficience alimentaire sont limités. Par ailleurs, les relations ne se retrouvent pas toujours sur les deux régimes. Une relation entre le comportement alimentaire et l'efficience alimentaire existe donc, mais le comportement alimentaire seul ne permet pas de discriminer les animaux sur leur efficience.

Les résultats des relations entre l'EA et les quatre composantes du comportement alimentaire sont détaillés ci-dessous.

3.3.1 Le temps passé à l'auge par jour

En étudiant l'ensemble des animaux, ou en étudiant les lots séparément, une relation négative et significative est observée entre l'EA et le temps passé à l'auge par jour (P.value < 0,01). Cependant, les corrélations restent faibles. Ainsi, en moyenne, les animaux gaspilleurs passent plus de temps à l'auge.

3.3.2 La quantité ingérée par jour

Pour l'ensemble des animaux, une relation négative et significative est trouvée entre l'EA et la consommation journalière (r = -0,158; P.value < 0,01). Ainsi, en général, les animaux gaspilleurs sont les plus gros consommateurs. Cette relation est retrouvée au sein des animaux du lot amidon mais elle n'est pas confirmée au sein des animaux du lot cellulose.

3.3.3 La vitesse d'ingestion (ingestion/durée à l'auge)

Pour la vitesse d'ingestion, une relation positive et significative est trouvée avec l'EA (r = 0,228 ; P.value < 0,01). Ainsi, en général, les animaux efficients ont une vitesse d'ingestion plus élevée. Cependant, en étudiant les lots séparément, la relation n'est confirmée que pour le lot cellulose.

3.3.4 Le nombre de repas par jour

Concernant le nombre de repas par jour, on observe une tendance générale mais non significative (P.value = 0,06) avec l'EA. Ainsi, les animaux qui viennent plus souvent à l'auge auraient tendance à

avoir une meilleure efficience sur le critère de l'EA. Cependant, en étudiant les lots séparément, la relation ne devient significative que pour le lot cellulose et toujours avec une corrélation relativement faible (r = 0,314 ; P.value < 0,01).

Ainsi, que ce soit pour l'abondance naturelle en ^{15}N, la digestibilité de la matière organique prédite par analyse chimique des fèces, ou encore le comportement alimentaire, des relations plus ou moins fortes avec l'efficience alimentaire semblent se dégager. Cependant, ces critères seuls ne permettent pas de discriminer les animaux sur leur efficience. Les analyses se poursuivent, notamment sur l'abondance naturelle en ^{15}N, biomarqueur particulièrement prometteur.

4. Estimation des paramètres génétiques

Les corrélations génétiques estimées entre les taureaux de CI, nourris avec un aliment condensé sous forme de bouchons, et leurs descendants, nourris à l'ensilage, sont de 0,58 ± 0,24 pour la CMJR, 0,82 ± 0,33 pour le GMQR et 0,77 ± 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'efficience 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 estimées 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 assez peu corrélés génétiquement avec la CMJ ou le PF (entre 0,23 et 0,35). Phénotypiquement ces deux critères d'efficiences sont principalement corrélés au GMQ (respectivement 0,75 et 0,67) et dans une bien moindre mesure au PF (respectivement 0,29 et 0,21).

Tableau 4 : Héritabilité (en diagonale en bleu) et corrélations génétiques ± erreur standard (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'efficience alimentaire chez les taurillons.

	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

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 ± 0,18 pour la CMJR, 0,70 ± 0,21 pour le GMQR et 0,46 ± 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'efficience 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 entrainer des erreurs standard des corrélations génétiques estimées un peu élevées, mais conformes à la littérature. L'analyse du déterminisme génétique de l'efficience alimentaire a tout de même montré que les trois critères d'efficience alimentaire, ainsi que les trois critères de production étudiés, étaient modérément héritables. Une amélioration génétique du troupeau allaitant pour ce caractère est donc possible via un index de sélection combinant les critères d'efficience et de production. De plus, il est possible de réaliser cette sélection à partir des taureaux contrôlés en stations de CI, car les corrélations génétiques estimées sont suffisamment élevées pour permettre un progrès génétique : la sélection de taureaux sur leur efficience alimentaire mesurée avec des aliments condensés au distributeur automatique de concentrés (DAC) se retrouve sur leur descendance constituée de jeunes bovins en engraissement.

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 entrainerait 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'efficience et la vitesse de croissance.

Conclusion

Le travail réalisé a permis de phénotyper 588 jeunes bovins sur deux rations contrastées, l'une à base d'ensilage de maïs, l'autre à base d'ensilage d'herbe. En moyenne, les animaux ayant reçu la ration à base de maïs ont montré des croissances plus élevées pour des consommations comparables à l'autre lot. Ils avaient ainsi une meilleure efficience alimentaire exprimée en EA. Cependant, de très bonnes performances ont aussi été observées avec la ration à base d'ensilage d'herbe. De plus, les analyses ont montré de très fortes variabilités individuelles.

La mesure des ingestions individuelles est couteuse et chronophage. Une étude des déterminismes de l'efficience alimentaire a ainsi été réalisée, dans l'objectif d'en dégager des possibles prédicteurs de l'efficience alimentaire. Que ce soit pour l'abondance naturelle en ^{15}N, la digestibilité de la matière organique prédite par analyse chimique des fèces, ou encore le comportement alimentaire, des relations plus ou moins fortes avec l'efficience alimentaire semblent se dégager. Cependant, seuls, ces critères ne permettent pas de discriminer les animaux sur leur efficience. Les analyses se poursuivent, notamment sur l'abondance naturelle en ^{15}N, particulièrement prometteuse.

Le travail réalisé a permis, pour la première fois en France, de réaliser des estimations de la relation génétique entre l'efficience alimentaire des taureaux contrôlés en station et celle des jeunes bovins en engraissement.

Il a permis d'estimer l'héritabilité de l'efficience 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'efficience alimentaire est présent mais reste toutefois assez limité. Cela offre la possibilité de phénotyper et d'imaginer un schéma de sélection sur l'efficience alimentaire. Les races comme la Blonde d'Aquitaine, la Limousine et la Rouge des Prés peuvent réaliser un progrès génétique sur l'efficience alimentaire, en cas de sélection des jeunes taureaux pour l'IA dans leur outil respectif, sur leur index EFAci (index CMJR en CI). Pour la race Charolaise, 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 jusqu'en 2015.

Références bibliographiques

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

Cantalapiedra-Hijar G., Abo-Ismail M., Carstens G., Guan L., Hegarty R., Kenny D., *et al*., 2018. Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. Animal, 12 (S2), S321-S335.

De la Torre A., Andueza D., Renand G., Baumont R., Cantalapiedra-Hijar G., *et al*., 2019. Digestibility contributes to between-animal variation in feed efficiency in beef cows. Animal, 13 (12), 2821-2829.

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

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

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

Meyer K., 2007. WOMBAT – A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). Journal of Zhejiang University SCIENCE B 8, 815–821.

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

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

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)