

AGROCAMPUS
OUEST

- CFR Angers
 CFR Rennes



Année universitaire : **2016 - 2017**

Spécialité : **Productions animales**

Spécialisation (et option éventuelle) :

**Sciences de l'Animal pour l'Élevage de
Demain**

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
 de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
 d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

La contribution nette de l'élevage bovin viande français à l'alimentation de l'être humain

Par : Augustin **GRAVIER**



Soutenu à Rennes le 07 septembre 2017

Devant le jury composé de :

Président : **Yannick LE COZLER**

Maître de stage : **René BAUMONT, Pauline MADRANGE**

Enseignant référent : **Anne-Lise JACQUOT**

Autres membres du jury (Nom, Qualité) : **Lucile MONTAGNE (rapporteur)**

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je remercie tout d'abord René Baumont et Pauline Madrange, mes deux maitres de stage. Leur expérience et leur expertise ont permis l'élaboration et l'aboutissement de ce travail de stage. Ils m'ont épaulé et orienté à chaque étape de ce travail. Je leur suis également très reconnaissant du temps qu'ils ont consacré aux relectures de ce mémoire.

Je tiens à remercier chaleureusement Sarah Laisse-Redoux pour ses conseils méthodologiques précieux et son accompagnement attentionné tout au long de ce stage.

Je remercie tout particulièrement Patrick Veysset et Jacques Agabriel qui ont contribué à résoudre des points délicats de la méthodologie. Leur regard critique et leur expertise m'ont aidé à trouver des perspectives à ce travail sur les efficacités alimentaires des bovins viande français.

Je suis aussi très reconnaissant à Philippe Dimon qui nous a fournis toutes les données de la base Diapason nécessaires à cette étude. Je le remercie pour sa patience et sa réactivité à nous fournir des informations complémentaires.

Je remercie l'équipe du projet « Efficacités alimentaires des productions animales du GIS Elevage Demain » Ses membres m'ont apporté des conseils constructifs, lors d'une présentation de la méthodologie de ce stage à Paris, le 10 mai dernier.

Enfin, j'ai une pensée particulière pour les personnes de l'équipe Dinamic de l'UMR Herbivores de l'INRA de Theix pour leurs conseils, leur accueil et leur bienveillance à tout instant.

Table des matières

Introduction	1
I. Etude bibliographique	
A. Une efficience nette qui évalue mieux la compétition avec l'alimentation humaine	1
B. Une viande de grande qualité nutritionnelle et des coproduits animaux plus ou moins valorisés	2
C. Des aliments végétaux dont la valorisation en alimentation humaine est variable	3
D. Selon les systèmes, des animaux produits et des aliments consommés très divers	4
E. Conclusion : objectifs et hypothèses de travail	5
II. Matériel et méthodes	
A. Les systèmes bovins viande étudiés	5
1. Base de données Diapason	5
2. Des élevages bovins viande sélectionnés selon 3 critères	6
3. Classification des 144 exploitations en 8 systèmes bovins viande	6
B. Démarche et adaptations pour le calcul des indicateurs d'efficience alimentaire	7
1. Les indicateurs d'efficience alimentaire étudiés	7
2. Calcul des quantités de protéines et nutriments énergétiques consommées par les bovins viande	7
3. Calcul des quantités de protéines et d'énergie produites par les bovins viande	7
C. Des scénarios qui décrivent les niveaux de valorisation des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine	8
D. Méthodes d'analyse des résultats d'efficience alimentaire	8
III. Résultats	
A. Huit systèmes bovins viande avec des caractéristiques bien différentes	11
B. Des efficacités totales et énergétiques nettes faibles mais des systèmes contributeurs nets de protéines pour l'alimentation humaine	11
C. Une analyse des facteurs capables de conditionner les efficacités et les variations intra-systèmes d'efficience protéique nette	13
D. Des systèmes inégalement sensibles à une meilleure valorisation des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine	15
IV. Discussion	
A. Interprétation des résultats d'efficience et comparaison avec d'autres systèmes	15
1. Les aliments consommés et les animaux produits expliquent les variations d'efficacités inter-systèmes	15
2. Des variations d'efficacités protéiques nettes intra-systèmes expliquées par le niveau d'intensification de la conduite d'élevage	17
3. Une meilleure valorisation en alimentation humaine des aliments végétaux aurait davantage d'effet sur les efficacités protéiques nettes des systèmes	18
B. Regards critiques sur la méthodologie suivie et les résultats obtenus	19
Conclusion	20
Références bibliographiques et sitographiques	21
Annexes	26

Glossaire

Abat : Coproduit C3 consommable par l'Homme autre que des os et graisses. Ils sont le plus souvent issus du 5^{ème} Quartier.

Aliment composé du commerce : Aliment constitué de plusieurs matières premières végétales (et minérales), produit par des fabricants d'aliments.

Animaux « maigres » ou « légers » : Animaux (bovins) vendus vivants à d'autres élevages en tant qu'animal à engraisser ou animal reproducteur.

Animaux « finis » ou « lourds » : Animaux (bovins) vendu pour être abattu à la sortie d'exploitation. Animaux ayant le plus souvent suivi un engraissement ou une finition.

Aponévrose : Feuillet fibreux reliant un muscle à son attache osseuse (tendon).

Bœuf : Mâle castré vendu à la boucherie à 24 mois révolus ou plus.

Broutard(e) léger(e) : Mâle ou femelle vendu(e) « maigre » entre 8 et 11 mois révolus.

Broutard(e) lourd(e) ou repoussé(e)s : Mâle ou femelle vendu(e) « maigre » entre 11 mois et 14 mois révolus souvent après une période de repousse (consommation soutenue de concentrés au pâturage ou à l'étable).

Concentré : Dans ce travail, ont été considérés comme concentrés : céréales, tourteaux, graines d'oléagineux et protéagineux, autres concentrés (luzerne déshydratée, ...), coproduits céréaliers, autres coproduits (pulpe déshydratée, ...).

Consommable : Comestible pour l'Homme, avec ou sans étape de transformation.

Coproduit (d'origine végétale) : Produit secondaire d'un processus de transformation d'une matière première végétale.

Coproduit (d'origine animale) : Produit secondaire issu de l'abattage et de la transformation d'un animal.

Coproduit de type C1 : Cadavre d'animaux malades, tissus nerveux, ou matériel à risque sanitaire élevé, ... sans valorisation possible.

Coproduits de type C2 : Lisier, contenu digestif, eaux résiduaires d'abattoir et d'atelier de transformation, cadavres d'animaux non malades, ... Produits éliminés ou valorisés en engrais et oléochimie.

Coproduits de type C3 : Ensemble des coproduits animaux ne présentant pas de risque pour la santé humaine. Produit valorisé en alimentation humaine, petfood, engrais, oléochimie, ...

Corn Gluten Feed : Coproduit végétal issu des amidonneries de maïs ou des distilleries de maïs pour la production d'éthanol. Il est le plus souvent composé des sons et eaux de trempage de maïs (+ solubles de distillerie, tourteaux de germes, brisures, ... parfois).

Digestibilité iléale : Degré de digestion d'une matière organique au niveau de l'intestin grêle, en négligeant les fermentations au niveau du gros intestin.

Drèche (de blé, de maïs, d'orge, ...) : Coproduit céréalier issu des distilleries, meuneries ou des brasseries, composé des sons, germes, solubles et levures de fermentation.

Elevage allaitant : Elevage composé d'un troupeau de vaches reproductrices de races allaitantes (= ou > 20 vaches allaitantes, Perrot et al., 2013).

Fourrage de type coproduit : Coproduit végétal des récoltes (paille alimentaire) ou issu des industries de 1^{ère} transformation (pulpe de betterave humide, surpressée ou déshydratée).

Génisse (de boucherie) : Femelle vendue à la boucherie à 24 mois révolue ou plus.

Gluten 60 (ou Corn Gluten meal) : Coproduit de la transformation du maïs en amidonnerie, riche en protéines non dégradables dans le rumen.

Indice de Consommation (IC) : Pour un atelier d'élevage donné,

IC = Quantité d'aliment consommé (kg)/Poids vif produit (kg).

Industrie de 1^{ère} transformation : industrie agroalimentaire qui assure la transformation des matières premières végétales « brutes », issues des récoltes, en des matières premières directement consommées par l'Homme (farine, sucre, ...) ou utilisées dans la production d'aliments élaborés pour l'Homme (pains, pâtisseries, ..., industries de 2nd transformation).

Petfood : Aliment pour animaux de compagnie (chiens, chats,) composé des coproduits animaux C3 consommables ou non par l'Homme.

Jeune bovin (= taurillon) : Mâle non castré vendu à la boucherie entre 14 et 24 mois révolus.

Jeune bovin maigre : Mâle vendu « maigre » à un autre élevage à 14 mois et plus.

Matière première végétale : Matière végétale brute (non transformée) consommée comme aliment simple dans les élevages ou incorporée dans des aliments composés de commerce, sous forme plus ou moins transformée.

Mélasses : Coproduit sirupeux issu de la fabrication ou du raffinage de sucre de betterave sucrière (ou de canne à sucre).

Orientation Technico-Economique des exploitations (OTEX) : Niveau de spécialisation et de combinaison des activités dominantes au sein d'une exploitation, définie selon la part de chaque atelier dans le Produit Brut Standard annuel (d'après Perrot et *al.*, 2013).

Part animaux abattus dans poids vif total produit (% kg vif) : Proportion du poids vif produit par une exploitation qui est issu de bovins directement abattus après la vente, à la sortie de l'exploitation.

Pertes endogènes : Ensemble des cellules du tube digestif partant par desquamation, des bactéries du tubes digestif et des enzymes présent dans les fèces et ne faisant pas partie des aliments ingérés.

Phase d'abattage : Ensemble des étapes permettant, à l'abattoir, le passage d'un animal vivant à une carcasse préparée au ressuyage (saignée, dépeçage, éviscération, parage et dégraissage très partiels, ...) (d'après Cartier et Moevi, 2007).

Phase de découpe : Ensemble des étapes permettant, à l'abattoir, le passage d'une carcasse à des morceaux de viande prêts à la consommation humaine (parage, dégraissage, découpage, ...) (d'après Cartier et Moevi, 2007).

Process de transformation : Ensemble des étapes industrielles de transformation d'une matière première (végétale par exemple) plus ou moins brute, en un produit secondaire.

Produit « typé abat » : Abat consommé en alimentation humaine sous forme de pièce bouchère (foie, langue, hampe, onglet, ...).

Produit « abat transformé » : Abat consommé en alimentation humaine sous forme plus ou moins transformée (museau dans salade, cœur dans ravioli, ...).

Pulpe de betterave surpressée : Coproduit du surpressage des cossettes de la betterave sucrière après extraction du sucre.

Radicelles d'orge : Coproduit issu de la transformation de l'orge en brasserie, le plus souvent composé de résidus de graines germées et de levures de fermentation.

Remoulage (de blé tendre) : Coproduit issu du raffinage de la farine de blé tendre en meunerie, moins riche en composés pariétaux que les sons de blé.

Rendement de carcasse (dit « rendement carcasse ») : Poids carcasse chaude (kg)/Poids vif animal entier (kg vif) (en % kg).

Rendement de découpe : Poids de viande consommable produite (kg)/Poids de carcasse froid (kg) (en % kg).

Reproducteur (reproductrice) : Jeune taureau (ou génisse) destiné(e) à être vendu(e) comme animal reproducteur à un autre élevage.

Son (de blé tendre) : Coproduit issu de la transformation du blé tendre en meunerie et distillerie, riche en composés pariétaux (téguments de la graine, ...).

Taureau de réforme gras : Taureau de réforme reproducteur ayant connu une période de finition avant abattage.

Tourteau expeller : Tourteau obtenu par pression à chaud des graines d'oléagineux et oléo-protéagineux. Tourteau souvent plus riches en lipides que tourteaux obtenu avec un solvant (matière grasse > 4% MS du tourteau) (d'après Leborgne et *al.*, 2013).

Tourteau de tournesol Hipro (ou « High Pro ») : Tourteau de tournesol obtenu par un décorticage préalable à la trituration des graines.

Type génétique : race + sexe de l'animal

Veau lourd : Mâle ou femelle vendu à la boucherie entre 6 mois révolus et 10 mois.

Viande à cuisson lente : Morceau de viande nécessitant une cuisson lente (rôti, pièce de pot au feu, ...), moins valorisé que la viande à cuisson rapide.

Viande à cuisson rapide : Morceau de viande nécessitant une cuisson rapide (rumsteack, bavette, ...), bien valorisé (prix) en consommation humaine.

Wheat Gluten Feed (ou Gluten Feed de blé) : Coproduit végétal issu des distilleries ou des meuneries. Il est le plus souvent composé des sons et eaux de trempe (+ solubles de distillerie, tourteaux de germes, brisures, ... parfois).

5^{ème} Quartier : Ensemble des coproduits C3 générés lors des phases d'abattage et de découpe (d'après Cartier et Moevi, 2007).

Liste des abréviations

Bovins viande : bovins destinés à la production de viande (de races allaitantes ou laitières)
CIV : Centre d'Informations des Viandes
EB : teneur en Energie Brute (en kcal/kg MS dans ce travail)
EBE : Excédent Brut d'Exploitation (en €)
ECEC : Efficience de Conversion de l'Energie Consommable par l'Homme
ECET : Efficience de Conversion de l'Energie Totale
ECPC : Efficience de Conversion des Protéines Consommables par l'Homme
ECPC moyenne : Efficience moyenne de Conversion des Protéines Consommables par l'Homme dans un système bovins viande étudiés
ECPT : Efficience de Conversion des Protéines Totales
FAO : Food and Agricultural Policy (organisation internationale)
IRVA : Interprofession Régionale du Veau d'Aveyron
JB : Jeune Bovin (ou taurillon)
MAT : Matière Azotée Totale (en g de protéines/kg MS dans ce travail)
MS : Matière Sèche (en %)
Naisseur légers : Naisseur de broutards légers
Naisseur lourds : Naisseur de broutards lourds
nb : nombre
N° Diapason : numéro d'une exploitation étudiée dans la base de données Diapason
OTEX : Orientation Technico-Economique des eXploitations
P : Probabilité critique (analyse de variance et comparaison de moyennes par test de Student, au risque d'erreur de 5%)
PB : teneur en Protéines brutes (en g de protéines/kg MS dans ce travail)
PB : Produit Brut
PEC : Proportion d'Energie Consommable par l'Homme
PEC aliment : Proportion d'Energie Consommable par l'Homme dans un aliment composé du commerce
PEC ration : Proportion d'Energie Consommable par l'Homme dans la ration d'une exploitation ou d'un système
PPC : Proportion de Protéines Consommables par l'Homme
PPC aliment : Proportion de Protéines Consommables par l'Homme dans un aliment composé du commerce
PPC ration : Proportion de Protéines Consommables par l'Homme dans la ration d'une exploitation ou d'un système
PV : Poids vifs (en kg vifs)
resp. : respectivement
SAU : Surface Agricole Utile (en ha)
SFP : Surface Fourragère Principale (en ha)
SIFCO : Syndicat des Industries Françaises des COproduits
STH : Surface Toujours en Herbe (surface en prairie permanente) (en ha)
UGB : Unité Gros Bovin
UMO : Unité de Main d'œuvre
VA : Vache Allaitante (du troupeau allaitant, fonction reproductrice)
Vs : versus
 α : risque d'erreur standard (analyse de variance et comparaison de moyennes par test de Student)

Liste des annexes

Annexe I : Délimitations et caractéristiques des bassins d'élevage étudiés, projetés sur la carte des grandes régions de cultures fourragère en France (d'après Huyghe et Delaby, 2013 Perrot et *al.*, 2013 ; Brouard et *al.*, 2015).

Annexe II : Présentation de la notion de Proportion des Protéines et Energie Consommables par l'Homme des matières premières végétales (PPC et PEC) (Laisse et *al.*, 2016).

Annexe III : Valeurs MS, MAT, EB, PPC et PEC des matières premières végétales consommées comme aliments simples ou incorporées dans les aliments composés du commerce formulés (Baumont et *al.*, 2007 ; Laisse et *al.*, 2016).

Annexe IV : Clé de détermination des fourrages à base d'herbe, consommés par les élevages bovins viande étudiées, utilisée pour retrouver les valeurs MAT et EB des fourrages à base d'herbe (Baumont et *al.*, 2007).

Annexe V : Tableau des valeurs de Protéines Brutes (MAT en g/kg MS) et d'Energie Brute (EB, en kcal/kg MS) des fourrages à base d'herbe (herbe pâturée, herbe conservée) des élevages bovins viande étudiées (Baumont et *al.*, 2007).

Annexe VI : Composition en matières premières végétales des 9 aliments composés du commerce les plus consommés par les exploitations bovins viande étudiées (ECOALIM).

Annexe VII : Composition en matières premières végétales des 5 aliments composés du commerce les moins consommés par les exploitations bovins viande étudiées (INRATON).

Annexe VIII : Valeurs MAT (en g/kg MS), EB (kcal/kg MS) et Proportions Consommables des Protéines et de l'Energie Consommables par l'Homme des aliments composés du commerce (PPC aliment et PEC aliment resp., en % MS)).

Annexe IX : Teneurs en protéines (MAT, en g/kg) et énergie (kcal/kg) consommables par l'Homme, issues des produits animaux des bovins viande (d'après Laisse et *al.*, 2016).

Annexe X : Modèle de détermination des productions nettes de protéines et d'énergie animales dans des systèmes produisant ou vendant des animaux dits « maigres » ou « légers » (complément figure 11).

Annexe XI : Valeurs moyennes et écart-type des variables actives utilisées dans l'Analyse en Composantes principales (base Diapason).

Annexe XII : Sorties des analyses de variance à 1 facteur et des comparaisons de moyennes (test de Student) au risque d'erreur standard de 5% : Indicateurs d'efficacité alimentaire étudiés (extraits des sorties de RCommander).

Annexe XIII : Cercle de corrélation et graphique des individus sur le plan 2 (axes 3 et 4, 18.31 % de la variabilité) d'Analyse en Composantes Principales (plan non étudié dans ce travail) (ExcelStat).

Annexe XIV : Tableau des corrélations entre variables étudiées (actives et illustratives) les axes des plans 1 (F1 et F2) et 2 (F3 et F4) (ExcelStat).

Annexe XV : Tableau des corrélations entre les variables actives étudiées et les variables illustratives (indicateurs d'efficacité alimentaire) (ExcelStat).

Annexe XVI : Sorties des analyses de variance à 1 facteur et des comparaisons de moyennes (test de Student) au risque d'erreur standard de 5 % : Différences relatives d'ECPC lors d'une meilleure valorisation des aliments végétaux ou produits animaux en alimentation humaine (extraits des sorties de RCommander).

Liste des figures

Figure 1 : Schéma et calcul de l'efficacité alimentaire totale d'un élevage bovin viande (d'après Laisse et *al.*, 2016).

Figure 2 : Schéma et calcul de l'efficacité alimentaire nette d'un élevage bovin viande (d'après Laisse et *al.*, 2016).

Figure 3 : Valorisation d'une vache de race Charolaise de 740 kg en produits animaux (d'après FranceAgrimer – Reseda, 2013 ; Agabriel et Veysset, 2016 ; Laisse et *al.*, 2016 ; Institut de l'Élevage – Confédération Nationale de l'Élevage, 2016).

Figure 4 : Ration moyenne des bovins viande : parts des aliments consommés par UGB « tous systèmes bovins confondus » (Devun et *al.*, 2012).

Figure 5 : Répartition des élevages des bovins viande français en fonction des systèmes d'élevage (Perrot et *al.*, 2013).

Figure 6 : Ration moyenne des principaux systèmes spécialisés bovins viande français (tous types d'animaux confondus) (Devun et *al.*, 2012).

Figure 7 : Bassins d'élevage de bovins viande étudiés, projetés sur la carte des grandes régions de cultures fourragère en France (d'après Perrot et *al.*, 2013 ; Huyghe et Delaby, 2013 ; Brouard et *al.*, 2015).

Figure 8 : Calcul des indicateurs d'efficacité alimentaire : efficacités totales (ECPT, ECET), Proportions Protéiques et Énergétiques Consommables par l'Homme dans les rations (PPC ration et PEC ration) et efficacités nettes (ECPC, ECEC).

Figure 9 : Démarche de calcul de la quantité d'herbe pâturée (Hpât) par les bovins viande d'une exploitation (quantité moyenne (tMS/an), estimée à partir des données de Devun et Moevi (2012) (Tableau 6)).

Figure 10 : Formule de calcul de la Proportion de Protéines Consommables actuelle (PPC actuelle, en % MS) d'un aliment de commerce.

Figure 11 : Démarche d'obtention de la production nette de protéines (kg) dans une exploitation bovins viande.

Figure 12 : Formule de calcul des variables expliquées, utilisées pour décrire l'évolution de l'ECPC lors d'une meilleure valorisation des aliments végétaux (1^{er} volet) et des produits animaux (2^{ème} volet) en alimentation humaine.

Figure 13 : Variabilité intrasystème de l'efficacité protéique nette des systèmes bovins viande étudiés (1^{ère} approche).

Figure 14 : Cercle de corrélation regroupant les 35 variables actives testées et les 6 variables illustratives (indicateurs d'efficacité alimentaires) (Analyse en Composantes Principales, ExcelStat).

Figure 15 : Graphique des individus dans le plan 1 formé des axes 1 et 2 (Analyse en Composantes Principales, ExcelStat).

Figure 16 : Effet d'une meilleure valorisation des aliments végétaux en alimentation humaine, sur les efficacités protéiques nettes, actuelle et potentielle, et sur les PPC rations des systèmes bovins viande.

Figure 17 : Effet d'une meilleure valorisation des produits animaux en alimentation humaine, sur les efficacités protéiques nettes, des systèmes bovins viande.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Niveaux de valorisation actuels des abats et poids d'abats valorisables à l'avenir en alimentation humaine (d'après FranceAgrimer – Blezat Consulting, 2013).

Tableau 2 : Exemples de données extraites de la base Diapason et leur utilisation dans ce projet (d'après la base Diapason).

Tableau 3 : Clé typologique simplifiée pour définir les ateliers bovins viande (d'après Perrot et *al.*, 2013).

Tableau 4 : Tableau des 8 systèmes bovins viandes étudiés (d'après Perrot et *al.*, 2013).

Tableau 5 : Interprétation de l'efficacité protéique nette (ECPC) pour un élevage de bovins viande (d'après Wilkinson, 2011).

Tableau 6 : Quantités d'herbe consommées (herbe totale, pâturée et conservée) selon les types d'exploitations (d'après Devun et Moevi, 2012).

Tableau 7 : Définitions des scénarios de valorisation des aliments végétaux et des produits animaux en alimentation humaine (Laisse et *al.*, 2016).

Tableau 8 : Scénarios d'étude choisis pour les calculs d'efficacités alimentaires totales (ECPT, ECET) et nettes (ECPC, ECEC).

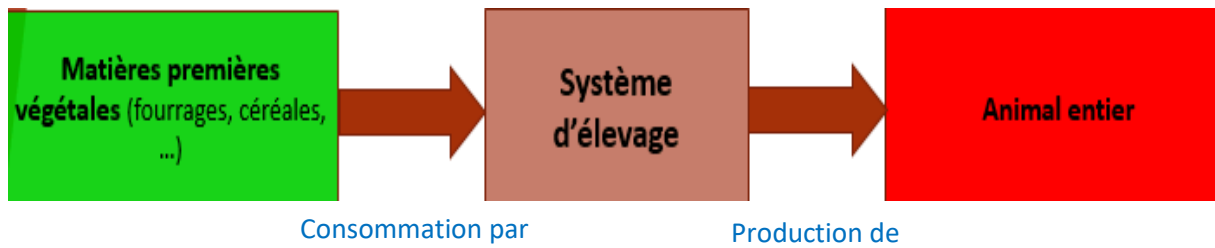
Tableau 9 : Variables (35) codées utilisées dans l'étude des variations d'efficacités alimentaires intra-système (base Diapason).

Tableau 10 : Quelques variables (9) caractéristiques des 8 systèmes bovins viande étudiés (base Diapason).

Tableau 11 : Valeurs moyennes et écart-types des indicateurs d'efficacité protéiques des 8 systèmes bovins viande étudiés.

Tableau 12 : Valeurs moyennes et écart-types des indicateurs d'efficacité énergétiques des 8 systèmes bovins viande étudiés.

Tableau 13 : Efficacités protéiques nettes de systèmes bovins viande présents dans la bibliographie (d'après Wilkinson, 2011 ; Wiedermann et *al.*, 2015 ; Ertl et *al.*, 2016).



$$\text{Efficience alimentaire totale} = \frac{\text{Nutriments animaux produits par l'élevage (kg)}}{\text{Nutriments végétaux consommés par l'élevage (kg)}}$$

Nutriments = protéines, nutriments énergétiques (lipides, glucides)

Nutriments animaux produits par l'élevage : ensemble des nutriments produits par les animaux entiers, consommables ou non par l'Homme

Nutriments végétaux consommés par l'élevage : ensemble des nutriments consommés par l'élevage, consommables ou non par l'Homme

Figure 1 : Schéma et calcul de l'efficience alimentaire totale d'un élevage bovin viande (d'après Laisse et al., 2016)

Introduction

En raison de la croissance démographique mondiale et des nouvelles habitudes de consommation, la demande mondiale en céréales, graines de protéagineux et viande devrait au minimum doubler d'ici 2050 (Godfray et *al.*, 2010 ; Cassidy et *al.*, 2013 ; Schader et *al.*, 2015). Cette dynamique engendre des besoins croissants en terres arables. Or, près des deux tiers de ces terres sont actuellement dédiés à l'alimentation des animaux d'élevage, et notamment à celle des bovins (Oltjen et Beckett, 1998).

La production de viande bovine est de plus en plus remise en cause car elle rentrerait notamment en compétition avec l'alimentation humaine. En effet, les bovins consomment plus de protéines et d'énergie qu'ils n'en produisent dans la viande pour l'alimentation humaine. Une partie des ressources végétales consommées par les bovins, pourrait être directement consommée par l'Homme (Oltjen et Beckett, 1998 ; Gill et *al.*, 2009 ; Foley et *al.*, 2013). De même, une partie des surfaces consacrées à cette production pourrait devenir des cultures végétales, à destination directe de l'alimentation humaine (Nidjdam et *al.*, 2012 ; Foley et *al.*, 2013). Toutefois, les ruminants tels que les bovins viande consomment essentiellement des fourrages, issus en partie de surfaces non arables, et des coproduits issus d'industries agroalimentaires et de biocarburants (Agreste, 2011 ; Wilkinson, 2011). Ces aliments ne sont pas valorisables en alimentation humaine car ils sont riches en fibres indigestes pour l'Homme. Les ruminants sont donc les seuls animaux capables de convertir ces aliments végétaux en énergie et protéines de très grande qualité nutritionnelle pour l'Homme (Wilkinson, 2011 ; Rémond, 2014).

En France, la production de viande bovine provient des vaches de réforme et des jeunes animaux dédiés à la production de viande (génisses, jeunes bovins, bœufs). Avec 4,1 millions de vaches allaitantes, le cheptel allaitant fournit près de 65% de la viande de gros bovins (hors veaux) en France (Institut de l'Élevage, 2016), le reste provenant du cheptel laitier.

C'est dans ce contexte que le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Elevage Demain a lancé début 2016 le projet « Efficiences des Productions Animales ». Le but de ce projet est d'évaluer la contribution nette en protéines et énergie des productions animales à l'alimentation humaine. L'efficacité alimentaire y sera évaluée par des indicateurs ne prenant en compte que les parts des produits animaux et aliments végétaux consommables par l'Homme.

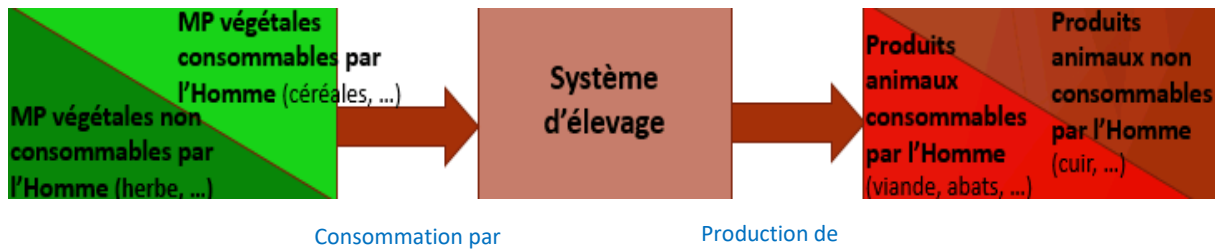
I. Etude bibliographique

A. Une efficacité nette qui évalue mieux la compétition avec l'alimentation humaine

L'efficacité alimentaire évalue la capacité d'un système donné (animal ou à une échelle plus large de l'exploitation, du territoire,...) à valoriser des aliments végétaux en produits animaux, tout en satisfaisant ses besoins d'entretien et de reproduction (Figure 1, Phocas et *al.*, 2013 ; Fisher et *al.*, 2015). Les calculs d'efficacité alimentaire sont souvent dérivés en efficacité protéique et efficacité énergétique.

Jusqu'à présent, l'efficacité totale a été la principale notion utilisée pour exprimer l'efficacité alimentaire. L'efficacité alimentaire totale correspond au rapport entre les nutriments animaux produits par l'animal entier et les nutriments végétaux issus de l'ensemble des aliments végétaux ingérés (Figure 1).

Cette efficacité totale a été le plus souvent mesurée à l'échelle de l'animal via l'Indice de Consommation (Oltjen et Beckett, 1996 ; Wilkinson, 2011). Les calculs d'efficacité totale ont souvent servi à illustrer l'inefficacité alimentaire de l'élevage de bovins pour la viande (que l'on appellera bovins viande dans la suite du texte). Ainsi Godfray et *al.* (2010) rapporte que 8 kg de céréales sont nécessaires pour produire 1 kg de viande de bœuf.



$$\text{Efficience alimentaire nette} = \frac{\text{Nutriments animaux produits par l'élevage et consommables par l'Homme (kg)}}{\text{Nutriments végétaux consommés par l'élevage et consommables par l'Homme (kg)}}$$

MP végétales : Matière premières végétales ou aliments végétaux

Nutriments = protéines, nutriments énergétiques (lipides, glucides)

Nutriments animaux produits par l'élevage et consommables par l'Homme : nutriments issus de produits animaux de l'élevage consommables par l'Homme (viande, abats, ...)

Nutriments végétaux consommés par l'élevage et consommables par l'Homme : nutriments issus d'aliments végétaux consommés par l'élevage et consommables par l'Homme.

Figure 2 : Schéma et calcul de l'efficacité alimentaire nette d'un élevage bovin viande (d'après Laisse et al., 2016)

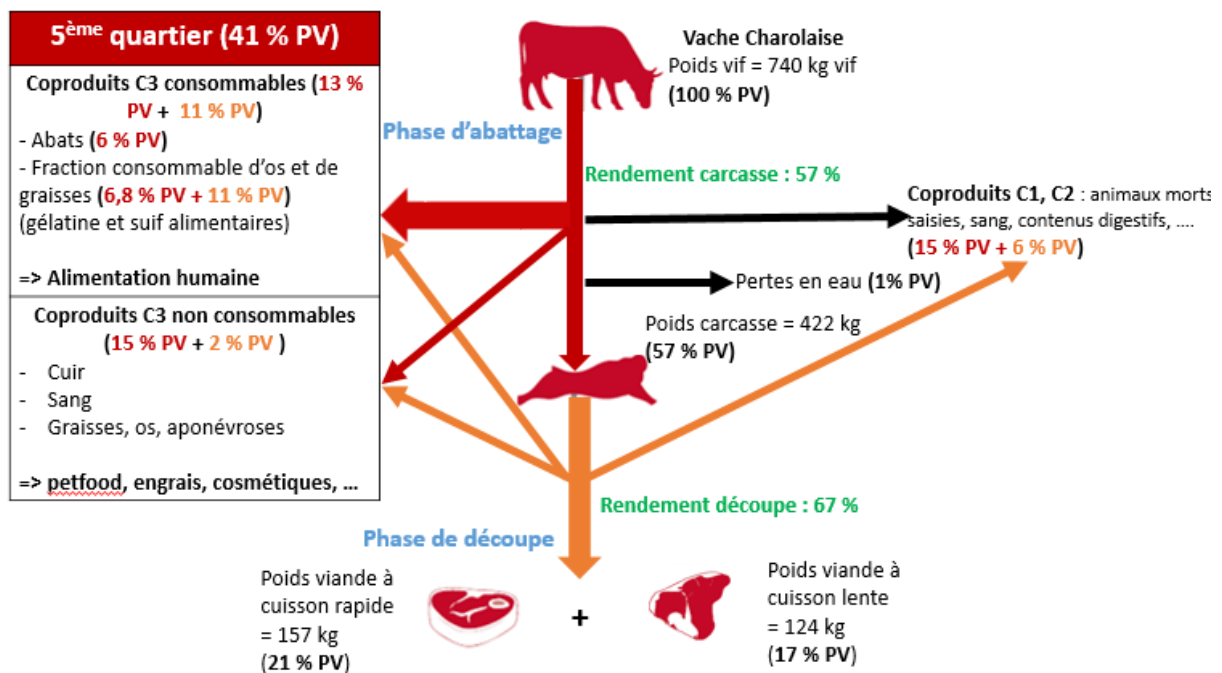


Figure 3 : Valorisation d'une vache de race Charolaise de 740 kg en produits animaux (d'après FranceAgrimer – Reseda, 2013 ; Agabriel et Veysset, 2016 ; Laisse et al., 2016 ; Institut de l'Élevage, 2016)

Vache Charolaise finie, note de conformation : U, note d'engraissement : 3. Pourcentages des produits animaux issus des données de l'abattoir de Theix (Agabriel et Veysset, 2016). Tous les pourcentages des produits animaux exprimés en % de Poids vif (PV).

Légende :

- Poids et flux de produits issus de la phase d'abattage
- Poids et flux de produits issus de la phase de découpe

Ces études soulignent également que l'élevage bovin viande est la production animale la plus inefficace pour produire de la viande. Galloway et *al.* (2007), avait ainsi calculé que 20 kg d'aliments végétaux étaient nécessaires pour produire 1 kg de viande de bœuf. Seuls 8 kg d'aliments végétaux pour les porcs et 1 kg d'aliments végétaux pour les poulets, étaient nécessaires pour produire 1 kg de viande.

Ce calcul de l'efficacité alimentaire est critiquable car il considère de la même façon tous les aliments ingérés par les animaux, qu'ils soient ou non consommables par l'Homme (Galloway et *al.*, 2007 ; Wilkinson, 2011 ; Ertl et *al.*, 2015a). Grâce à leur rumen, les bovins sont capables de valoriser des aliments non consommables par l'Homme (fourrages, coproduits d'industries agroalimentaires, ...). Ils sont ainsi aptes à produire des nutriments animaux consommables par l'Homme, à partir de nutriments végétaux qui ne sont pas consommables par l'Homme (Wilkinson, 2011 ; Ertl et *al.*, 2015a ; Laisse et *al.*, 2016). Enfin ces calculs ne considèrent souvent que la viande, alors que d'autres parties de la carcasse sont valorisées en alimentation humaine (abats, graisses, os...).

C'est pourquoi des chercheurs ont proposé de calculer l'efficacité alimentaire nette (Wilkinson, 2011 ; Ertl et *al.*, 2015a) dans laquelle seule la part des aliments végétaux consommable par l'Homme est prise en compte (Figure 2, Ertl et *al.*, 2015a). L'efficacité nette permet donc de mesurer la conversion de nutriments végétaux consommables par l'Homme en des nutriments animaux également consommables par l'Homme.

Un animal est considéré contributeur net s'il fournit davantage de nutriments consommables par l'Homme (protéines, nutriments énergétiques) qu'il n'en consomme. Dans le cas contraire, cet animal est consommateur net et rentre en compétition avec l'Homme dans l'utilisation des ressources végétales.

B. Une viande de grande qualité nutritionnelle et des coproduits animaux plus ou moins valorisés

Principal produit des élevages de bovins viande, la viande bovine est une source de protéines importante pour l'Homme (teneur protéique = 170 à 230 g de protéines/kg de viande fraîche). Environ 100 g de viande suffisent à couvrir le tiers des besoins journaliers en protéines (Cartier et Moevi, 2007).

La viande bovine est également une source de protéines d'excellente qualité. Contrairement aux protéines végétales, la viande bovine apporte l'ensemble des acides aminés indispensables à l'Homme (Cartier et Moevi, 2007 ; Rémond, 2014). Avec une digestibilité iléale de 92%, les protéines de viande bovine sont très rapidement dégradées et assimilées par l'organisme. A l'inverse des protéines végétales, elles ne sont pas complexées à des fibres, ce qui facilite leur digestion et limite les pertes endogènes (Rémond et Duchène, 2007).

L'énergie apportée par la viande est en partie issue des lipides (Cartier et Moevi, 2007). Ils ne représentent que 5 % du poids de viande fraîche, ce qui fait de la viande bovine un produit de consommation relativement maigre. Environ 100 g de viande ne couvrent que 10 % des besoins journaliers en lipides.

De plus ces lipides restent de grande qualité nutritionnelle. Près de 45 à 60 % des acides gras de la viande bovine sont insaturés et la teneur en cholestérol y est faible (50 à 80 mg/100 g de viande fraîche) (Cartier et Moevi, 2007).

La production de viande bovine est souvent considérée comme peu efficace car une bonne part de l'animal abattu n'est pas valorisée en alimentation humaine. Une vache de réforme Charolaise de 740 kg de poids vif vide ne génère que 281 kg de viande consommable (Figure 3, Brouard et *al.*, 2015).

Ces « pertes », appelés coproduits, sont dues aux phases d'abattage et de découpe qui assurent la transformation d'un animal entier en morceaux de viande consommables.

Tableau 1 : Niveaux de valorisation actuels des abats et poids d'abats valorisables à l'avenir en alimentation humaine (d'après FranceAgrimer – Blezat Consulting, 2013). Abats issus d'une vache de réforme de 700 kg poids vif. Abats saisis en routine selon règlements sanitaires en abattoirs. Abats sains considérés comme consommables

Abats	Poids abats entiers (kg)	Part abats saisis (% kg)	Poids abats sains (kg)	Part abats sains consommés actuellement (% kg)	Poids abats récupérables en alimentation humaine (kg) *
Langue	2	2	1,96	100	0
Hampe	2	0	2	100	0
Onglet	1,5	0	2	100	0
Queue	1,3	0	2	100	0
2 rognons	1,2	10	1,08	100	0
Noix de joue	2	2	1,96	92	0,16
Museau	0,8	10	0,72	92	0,06
Foie	5,5	20	4,4	90	0,44
Pieds	10	0	10	80	2
Cœur	1,8	5	1,71	85	0,26
Panse verte	15	15	12,75	25	9,56
Babine	0,5	10	0,45	10	0,41
Rate	1	0	1	0	1
Poumon + trachée	2,3	15	2	0	2
Mamelle	11,5	0	11,5	0	11,5
Total (kg)	58,4		55,53		27,39

* Poids abats récupérables en alimentation humaine : poids des abats sains qui ne sont pas consommés actuellement alors qu'ils sont consommables.

Ont été surlignées en rouge les abats consommables par l'Homme mais non valorisés en alimentation humaine.

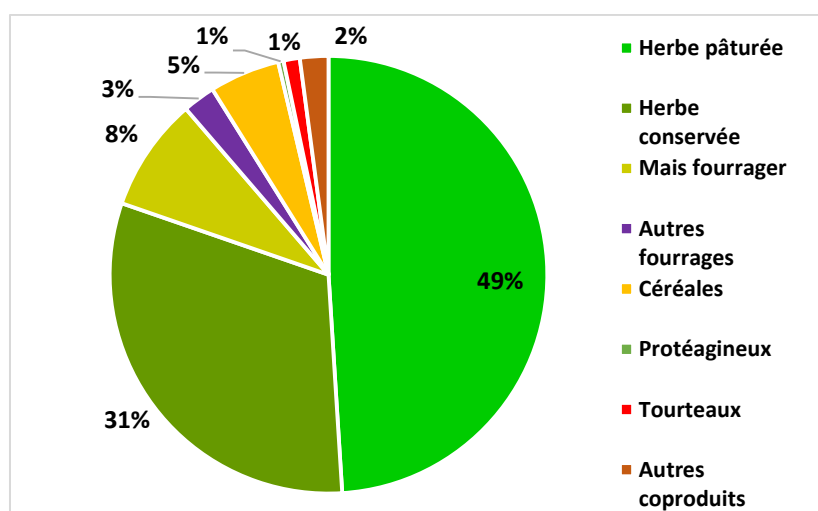


Figure 4 : Ration moyenne des bovins viande : parts des aliments consommés par UGB « tous systèmes bovins confondus » (Devun et al., 2012). Données de la base Diapason. Données obtenues par agrégation de 323 exploitations bovins viande, réparties en 8 systèmes de production. Autres fourrages : pulpe de betterave surpressée, paille alimentaire ; Autres coproduits : coproduits céréaliers, coproduits déshydratés, mélasse, ...

Les rendements en carcasse et de découpe permettent de mesurer la production de viande consommable et de coproduits (Figure 3). Le rendement en carcasse est de loin le plus variable. Ce rendement dépend de l'état d'engraissement de l'animal (et donc de sa conduite alimentaire) mais aussi de la race, du sexe et de l'âge de l'animal (Leborgne et *al.*, 2013).

Moins de la moitié des coproduits générés lors des phases d'abattage et de découpe sont actuellement consommables par l'Homme. Les coproduits C1 et C2 en sont écartés pour des raisons sanitaires (15% du poids vif soit 34 % des coproduits totaux, Agabriel et Veysset, 2016). Le reste des coproduits, étiquetés C3, forme le 5^{ème} Quartier (41 % du poids vif). Plus de la moitié de ces coproduits C3 est actuellement consommable par l'Homme (Figure 3).

Les coproduits C3 consommables par l'Homme sont composés des abats et d'une partie des os et graisses.

Issus de la phase d'abattage, les abats sont actuellement inégalement valorisés en alimentation humaine. La moitié de ces abats est couramment consommée, sous forme de produits « typés abats » (foie, hampe, onglet, ...) ou de produits transformés (cœur, museau, ...) (Tableau 1). Certains de ces abats (hampe, onglet, queue, langue) sont d'ailleurs recherchés par les consommateurs français et font l'objet d'importations (36 707 t/an, FranceAgrimer – Reseda, 2013).

Le reste de ces abats est très peu consommé en France (mamelles, panse verte) (Tableau 1). Ces derniers, bien que consommables par l'Homme, ne sont pas transformés en France par manque de débouchés et de processus de transformation (FranceAgriMer - Reseda, 2013 ; SIFCO, 2015 ; Agabriel et Veysset, 2016).

Les autres coproduits C3 consommables par l'Homme (os, graisses) sont surtout issus de la phase de découpe (Figure 3). Ils sont transformés en gélatine et suif alimentaires. Leur valorisation en alimentation humaine est également handicapée par le manque de processus de transformation et la concurrence de la gélatine de porc (FranceAgriMer - Reseda, 2013).

Les coproduits C3 non valorisés en alimentation humaine, consommables ou non par l'Homme, sont le plus souvent valorisés dans les industries des « petfood » en plein essor, des engrais ou des cosmétiques. Leur volume en France est très difficile à évaluer, faute de données des abattoirs (FranceAgrimer - Réséda, 2013 ; SIFCO, 2015).

C. Des aliments végétaux dont la valorisation en alimentation humaine est très variable

En France, les fourrages constituent 90 % de la ration moyenne des bovins viande. L'herbe, fourrage non consommable par l'Homme, reste l'aliment prédominant de cette ration (81.3 % de la ration). Parmi les animaux d'élevage, les bovins viande en sont même les principaux consommateurs. Ainsi plus de 80 % des fourrages à base d'herbe produits en France sont consommés par des bovins viande (Agreste, 2011). Ces fourrages à base d'herbe sont parfois complétés par des fourrages de type coproduits (paille, pulpe de betterave surpressée), eux aussi non valorisables en alimentation humaine (Figure 4).

L'ensilage de maïs (et de sorgho), dont la partie grain est considérée comme valorisable en alimentation humaine, ne représente que 8 % de la ration moyenne des bovins viande (Figure 4).

Les concentrés constituent une part mineure de la ration (10 % de la ration moyenne). Ils sont consommés sous forme d'aliments simples ou incorporés dans les aliments composés de commerce. Les tourteaux d'oléo-protéagineux (colza, tournesol, soja), les coproduits d'industries agroalimentaires (drèches de blé, Wheat et Corn Gluten Feed, ...) et les aliments déshydratés (luzerne déshydratée, pulpe de betterave déshydratée) font partie des concentrés non valorisables en alimentation humaine.

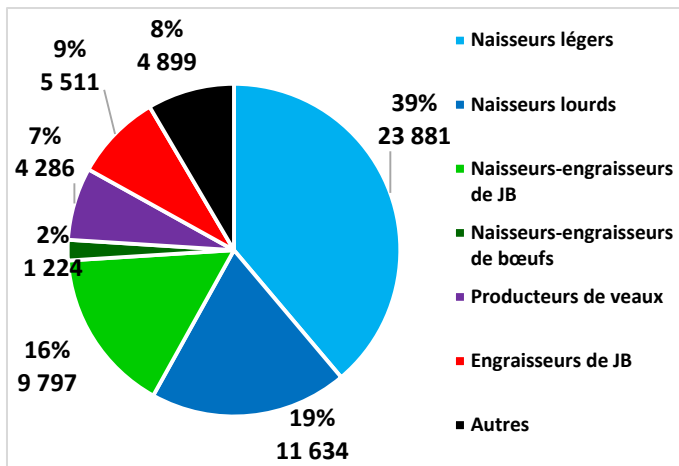


Figure 5 : Répartition des élevages des bovins viande français en fonction des systèmes d'élevage (Perrot et al., 2013). 61232 élevages bovins viande considérés. Pour chaque système, sont renseignés son nombre d'exploitations en France et son pourcentage. Elevages avec troupeau allaitant (naisseurs et naisseurs-engraisseurs) avec plus de 20 vaches allaitantes.

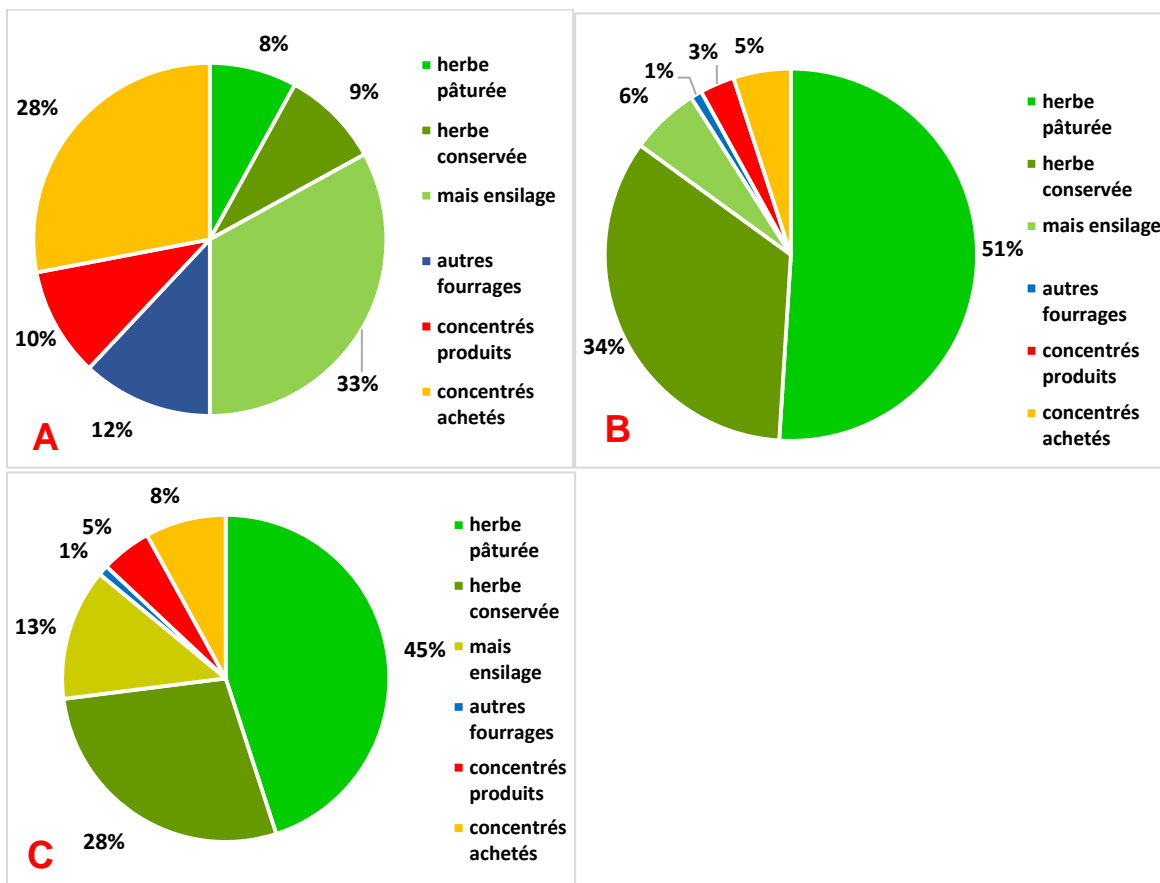


Figure 6 : Ration moyenne des principaux systèmes spécialisés bovins viande français (tous types d'animaux confondus) (Devun et al., 2012).

Distinction concentrés achetés et concentrés produits sur l'exploitation.

Données de 111 élevages naisseurs spécialisés sans culture du Réseau d'élevage, base de données Diapason)

- A. Rations moyennes des engraisseurs de jeunes bovins
- B. Rations moyennes des naisseurs de broutards
- C. Rations moyennes des naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins

Seuls quelques-uns (sons de blé, tourteaux de soja) pourraient actuellement être consommés ou transformés en partie pour l'alimentation humaine (Fischer et *al.*, 2001 ; Laisse et *al.*, 2016). Les céréales, aliments consommables par l'Homme, sont la principale source de compétition entre l'alimentation humaine et celle des bovins viande, en particuliers certaines céréales (blé tendre, orge,) (Laisse et *al.*, 2016). Les céréales ne représentent que la moitié des concentrés consommés dans la ration moyenne (Figure 4). Néanmoins les bovins viande tiennent une place importante dans leur consommation. En France, entre 2007 et 2009, 29 % des céréales dédiées à l'alimentation des animaux d'élevage ont été consommées par des bovins viande (Agreste, 2011). Les graines oléagineuses et protéagineuses, autres aliments consommables par l'Homme, sont très peu consommées par les bovins viande (Figure 4, Devun et *al.*, 2012).

Actuellement non valorisables en alimentation humaine, certains aliments végétaux pourraient le devenir. En effet, des changements d'habitudes alimentaires des consommateurs français, la création de nouveaux débouchés ou des améliorations de process de transformation pourraient rendre certains aliments végétaux consommables par l'Homme. Par exemple, les protéines végétales de certains tourteaux et céréales (tourteaux de colza et de lin, triticales) pourraient être mieux extraites afin d'être utilisées en alimentation humaine (Sari et *al.*, 2013 ; Laisse et *al.*, 2016).

D. Selon les systèmes, des animaux produits et des aliments consommés très divers

Un système d'élevage peut être défini comme « un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé par l'Homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir une ou plusieurs productions animales » (Landais, 1992).

En France, les systèmes bovins viande ont été définis selon la valorisation des animaux mâles (naiseur de broutards, naisseur-engraisseur de jeunes bovins,) (Figure 5) et l'Orientation Technico-Economique de l'Exploitation (OTEX) (spécialisés ou diversifiés en polyculture-élevage, grandes cultures, ...) (Devun et *al.*, 2012).

La diversité des animaux produits par les systèmes bovins viande s'accompagne d'une diversité très forte de l'alimentation.

Les systèmes naisseurs de broutards produisent des animaux mâles maigres, vendus à des ateliers d'engraissement (broutards légers ou lourds, jeunes bovins maigres). Certains produisent en complément des femelles finies (génisses de boucherie, vaches de réforme).

Leur ration est dominée par l'herbe (90 % de la ration), avec une faible consommation de concentrés (Figure 6). Cette consommation de concentrés augmente dans les systèmes naisseurs de broutards lourds. Les broutards y connaissent une période de repousse, avec une distribution importante de céréales (Brouard et *al.*, 2015).

Les naisseurs-engraisseurs et engraisseurs produisent des animaux mâles engraisés, directement abattus après la vente (jeunes bovins, bœufs, veaux lourds, ...).

Dans les systèmes naisseur-engraisseurs de taurillons, la part des concentrés augmentent par rapport aux systèmes naisseurs tandis qu'une part de l'herbe est remplacée par l'ensilage de maïs (13 % de la ration) (Figure 6).

Dans les systèmes engraisseurs de taurillons, les concentrés prennent une place très importante dans la ration (38% de la ration) aux dépens des fourrages. L'ensilage de maïs devient le fourrage dominant, complété par des fourrages de type coproduits (pulpe de betterave surpressée) (Figure 6, Institut de l'Elevage-ADEME, 2000 ; ADEME -Réséda, 2008).

Enfin, au sein d'un même système, les rations semblent peu varier selon la spécialisation des élevages bovins viande (entre élevages spécialisés et avec cultures, Devun et *al.*, 2012).

Tableau 2 : Exemples de données extraites de la base Diapason et leur utilisation dans ce projet (d'après la base Diapason). 28 types de données extraits au final (d'après la base Diapason)

Catégories de variables	Exemples de données extraites de la base Diapason	Utilisation des données extraites
Identité de l'exploitation	N° Diapason, Département, libellé de la région INSEES	
Activité de l'exploitation	Libellé du système d'exploitation (selon Idele), ateliers d'élevage présents	
Alimentation	Concentrés consommés : quantités, MAT (g/kg) et MS (%) (détaillées pour chaque concentré, en tMS/an) Fourrages utilisés : quantités (détaillées pour chaque fourrage, en tMS/an)) Fourrages de type coproduits utilisés : quantités (détaillées pour chaque fourrage, en tMS/an)	Calculs d'efficacité alimentaire + étude des variations d'efficacité intra système
Flux d'animaux	Type d'animaux (vaches de réforme, génisses, jeunes bovins, ..., animaux finis, repoussés ou maigres) Pour chaque type d'animaux : Type de mouvement (achat/vente), Nombre d'animaux vendus ou achetés (/an) Poids vif des animaux vendus ou achetés (kg vif/an) Poids carcasse des animaux vendus/achetés (en kg carcasse/an)	Calculs d'efficacité alimentaire + étude des variations d'efficacité intra système
Structure (assolement, cheptel)	SAU, SFP, STH, surface de maïs et sorgho fourragers (ha) Chargement (UGB/ha SFP) et charge de travail (UGB/UMO)	Etude des variations d'efficacité intra système
Zootéchnie	IVV, taux de mortalité, Productivité numérique, GMQ	Etude des variations d'efficacité intra système
Economie	EBE, Revenu Disponible, ... Charges opérationnelles de l'atelier bovins viande, ... Frais d'élevage, coût alimentaire	Etude des variations d'efficacité intra système

E. Conclusion : objectifs et hypothèses de travail

L'étude bibliographique révèle que les systèmes bovins viande diffèrent aussi selon la nature et les quantités des aliments consommés. De fortes variations d'efficacités alimentaires nettes pourraient exister entre des systèmes naisseurs, très herbagers, et des systèmes naisseurs-engraisseurs ou engraisseurs, consommateurs d'ensilage de maïs et de concentrés. En effet, la production de viande, sous forme d'animaux vendus en vifs ou à l'abattoir, et la consommation d'aliments consommables par l'Homme devraient fortement varier entre ces systèmes.

L'amélioration des transformations de certains aliments végétaux (tourteaux, céréales, ...) pour l'alimentation humaine pourrait accroître la compétition entre alimentations humaine et bovins viande. Les efficacités nettes de certains systèmes pourraient se réduire. Au contraire, une meilleure utilisation de certains coproduits animaux (abats, graisses et os) en alimentation humaine pourrait renforcer l'efficacité alimentaire nette de beaucoup de systèmes.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la contribution nette de systèmes bovins viande en protéines et énergie pour l'alimentation humaine. Ce travail permettra de déterminer les efficacités alimentaires totales et nettes des différents systèmes bovins viande étudiés. Dans ces calculs d'efficacités nettes seront pris en compte les degrés de valorisation des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine. Ces calculs seront approfondis par l'étude des variations d'efficacité alimentaire inter-systèmes puis intra-systèmes. Dans cette dernière seront étudiées les variables (alimentaires, structurelles, de production, ...) qui expliquent les variations d'efficacités entre exploitations d'un même système. Cette étude se focalisera surtout sur l'efficacité protéique nette, la viande étant une source de protéines de premier plan en alimentation humaine.

Ce travail étudie pour la première fois l'efficacité alimentaire des systèmes bovins viande en France. L'efficacité alimentaire ne sera plus considérée au niveau de l'animal mais à l'échelle d'une exploitation, puis d'un système d'élevage. Elle y sera calculée avec de nouveaux indicateurs, développés récemment, qui ne considèrent que les aliments végétaux en compétition avec l'alimentation humaine et les produits animaux consommables par l'Homme.

Dans un premier temps, les systèmes bovins viande, les scénarios étudiés et les conditions de calculs des indicateurs d'efficacités alimentaires seront détaillés. Après calculs, les variations inter-systèmes et les facteurs de variation intra-système des efficacités nettes seront expliqués afin de comparer les systèmes étudiés. Certaines de ces analyses se focaliseront sur l'efficacité protéique nette. Les évolutions des efficacités protéiques nettes des systèmes seront aussi comparées sous l'hypothèse d'une meilleure valorisation des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine.

II. Matériel et méthodes

A. Les systèmes bovins viande étudiés

1. Base de données Diapason

Le réseau Inosys (Institut de l'Élevage - Chambres d'Agriculture) est un maillage d'élevages représentatifs de la diversité des systèmes herbivores français. La base de données Diapason Bovins viande contient les données de 643 élevages de bovins viande du réseau Inosys, surtout producteurs de bovins de races allaitantes. Cette base de données regroupe les résultats technico-économiques, organisationnels et environnementaux de ces élevages. Une attention particulière a été portée à des résultats indispensables aux calculs d'efficacité alimentaire et à certaines variables sélectionnées pour l'étude des variations d'efficacité intra-système (Tableau 2).

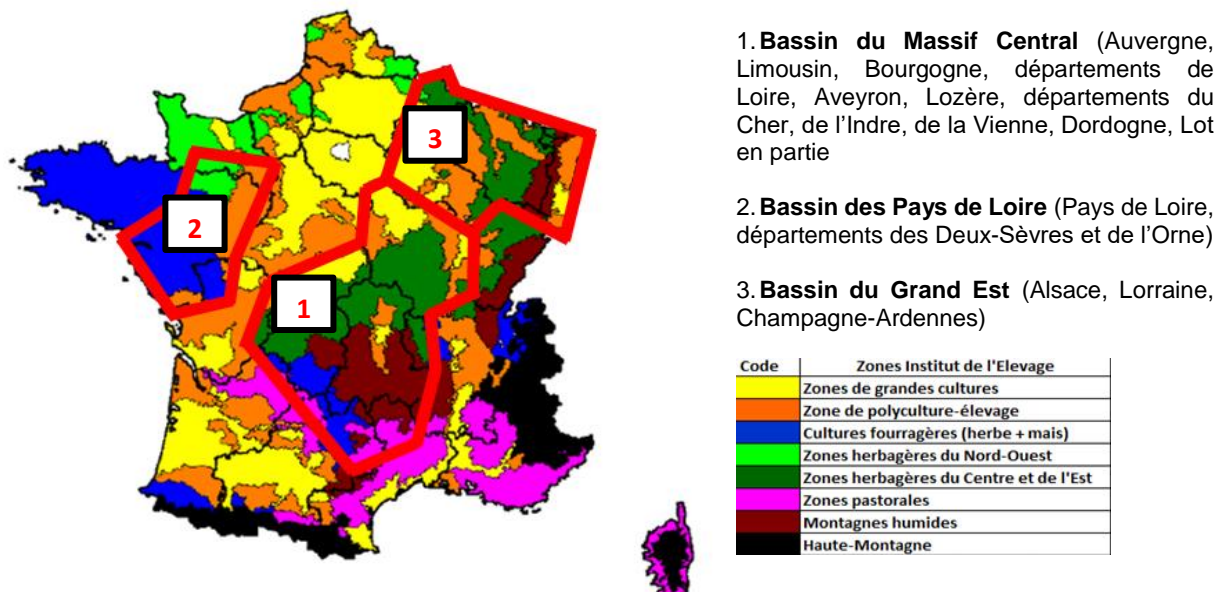


Figure 7: Bassins d'élevage de bovins viande étudiés, projetés sur la carte des grandes régions de cultures fourragères en France (d'après Huyghe et Delaby, 2013 ; Perrot et al., 2013 Brouard et al., 2015). Les bassins ont été délimités en suivant les frontières de départements et les zones de concentration de bovins viande.

Tableau 3 : Clé typologique simplifiée pour définir les ateliers bovins viande (d'après Perrot et al., 2013)

Présence ou non de VA	Devenir des veaux mâles de l'élevage	Type d'élevage	Valorisation à la vente des bovins mâles	Type d'atelier bovin viande
Présence de VA	Si nb mâles vendus maigres > 50 % mâles vendus	Naisseur	Si nb mâles vendus légers > nb mâles vendus lourds	Naisseur de broutards légers
			Si nb mâles vendus lourds > nb mâles vendus légers	Naisseur de broutards lourds
	Si nb mâles vendus engraisés > 50% mâles vendus	Naisseur-engraisseur	Si nb jeunes bovins vendus > nb bœufs vendus	Naisseur-engraisseur de jeunes bovins
			Si nb bœufs vendus > nb jeunes bovins vendus	Naisseur-engraisseur de bœufs
Absence de VA	Engraisseur de jeunes bovins ou de bœufs			

nb : nombre (/an).

Tableau 4 : Tableau des 8 systèmes bovins viandes étudiés (d'après Perrot et al., 2013). 144 exploitations réparties en 8 systèmes. 2 critères de classification : le bassin d'élevage et l'atelier bovin viande.

Bassin	Libellé système	Effectifs exploitations	Composition du système
Massif Central	Naisseur broutards légers	21	100 % de naisseurs broutards légers
	Naisseur broutards lourds	30	100 % de naisseurs broutards lourds
	Naisseur-engraisseur jeunes bovins	19	100 % de naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins
Pays de Loire	Naisseur broutards légers	13	100 % de naisseurs broutards légers
	Naisseur-engraisseur jeunes bovins et bœufs	21	18 naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins + 3 naisseurs-engraisseurs de bœufs
Grand Est	Naisseur broutards	19	17 naisseurs broutards légers + 2 naisseurs broutards lourds
	Naisseur-engraisseur jeunes bovins	10	9 naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins + 1 naisseur-engraisseur de bœufs
Tous bassins	Engraisseur jeunes bovins	11	100 % engraisseurs de jeunes bovins

Des regroupements ont dû être faits pour avoir un nombre suffisant d'exploitations par système (détails dans colonne « Composition des systèmes »).

2. Des élevages bovins viande sélectionnés selon 3 critères

I. La localisation

Seuls 3 bassins d'élevage ont été choisis : bassin du Massif Central (ou bassin allaitant), bassin des Pays de Loire, bassin du Grand Est (Figure 7). Ces 3 bassins ont été retenus pour 2 raisons :

- Ils rassemblent une bonne part de l'élevage bovin viande français (Perrot et *al.*, 2013)
- Ils ne produisent pas le même type de bovin viande, ne possèdent pas la même orientation agricole (OTEX). Le système fourrager, avec la part de maïs fourrager dans la SFP et l'importance des prairies permanentes, diffère selon les bassins (Brouard et *al.*, 2015 ; Annexe I).

II. L'atelier bovin viande

Seuls les élevages producteurs de broutards ou de gros bovins ont été retenus. Les producteurs de veaux (veaux sous la mère, veaux lourds d'Aveyron) ont été retirés. L'objectif des producteurs de veaux est de produire de la viande blanche ou rosée, ce qui engendre des conduites d'élevage et d'alimentation trop différentes de celles des autres systèmes bovins viande (IRVA, 1993).

III. La fiabilité des données dans Diapason

- Les exploitations bovins viande ne devaient pas posséder d'autres ateliers herbivores. Le but était de limiter les confusions dans l'utilisation des fourrages, entre ateliers herbivores.
- Les exploitations devaient être présentes depuis 5 ans minimum dans le réseau Inosys afin de garantir la cohérence des informations recueillies.
- Ces exploitations devaient avoir des données sur 3 années consécutives (2013, 2014, 2015). Le but était de calculer des moyennes des variables utilisées, afin de « lisser » les variations interannuelles.

Au final, parmi les 643 exploitations, seuls 144 élevages ont été retenus à la suite de cette phase de sélection.

3. Classification des 144 exploitations en 8 systèmes bovins viande

L'objectif était de regrouper les exploitations selon des critères qui conditionnent l'alimentation et le type d'animaux produits. Deux critères ont été retenus :

- Le bassin d'élevage (bassins du Massif central, des Pays de Loire et du Grand Est). Les efficacités pourraient varier d'un bassin à l'autre, étant donné que les bovins viande produits et les systèmes fourragers sont assez différents entre bassins (Annexe I).
- Le type d'atelier bovins viande (naissieurs de broutards légers ou lourds, naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins ou bœufs, engraisseurs de jeunes bovins) (Tableau 3). Les efficacités devraient être conditionnées par le type de bovin viande produit majoritairement et par le système d'alimentation.

L'Orientation technico-économique des exploitations (OTEX) n'a pas été retenue comme critère de classification. Les systèmes d'alimentation et les animaux produits varient peu entre élevages bovins viande spécialisés et diversifiés avec cultures (Devun et *al.*, 2012).

Les 144 exploitations bovins viande étudiées ont été classées en 8 systèmes. Chaque système devait comporter suffisamment d'exploitations (plus de 10 si possible) afin d'étudier les variations intra-systèmes par la suite (Tableau 4).

Afin de mieux caractériser ces 8 systèmes, des moyennes de variables liées à leur système d'alimentation, à leur production d'animaux à viande, à leur assolement et aux résultats économiques ont été calculées à partir des données de la base Diapason.

Efficience de Conversion des Protéines Totale

$$ECPT = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{kg vif}_i \times PB_i)}{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times PB_j)}$$

Efficience de Conversion de l'Energie Totale

$$PEC \text{ ration} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{kg vif}_i \times EB_i)}{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times EB_j)}$$

Proportions des Protéines et Energie Consommables par l'Homme dans les rations des élevages

$$PPC \text{ ration} = \frac{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times PB_j \times PPC_j)}{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times PB_j)}$$

$$PEC \text{ ration} = \frac{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times EB_j \times PEC_j)}{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times EB_j)}$$

Efficience de Conversion des Protéines Consommables par l'Homme

$$ECPC = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{kg vif}_i \times PB_i)}{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times PB_j \times PPC_j)}$$

Efficiences de Conversion de l'Energie Consommable par l'Homme

$$ECEC = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{kg vif}_i \times EB_i)}{\sum_{j=1}^n (\text{kg d'aliment végétal}_j \times EB_j \times PEC_j)}$$

Légende :

i : type de bovin viande vendu ou acheté ; j : aliment végétal consommé par l'élevage ; kg vif : poids vif du type de bovin vendu ou acheté i ; PB, EB : teneurs en Protéines Brutes (kg de protéines/kg) et en Energie Brute (kcal/kg) des aliments végétaux j et type de bovin i ; PPC, PEC (%) : Proportions Protéines et Energie Consommables par l'Homme

Figure 8 : Calcul des indicateurs d'efficience alimentaire : efficacités totales (ECPT, ECET), Proportions Protéiques et Energétiques Consommables par l'Homme dans les rations (PPC ration et PEC ration) et efficacités nettes (ECPC, ECEC).

Tableau 5 : Interprétation de l'efficience protéique nette (ECPC) pour un élevage de bovins viande (d'après Wilkinson, 2011). Tableau applicable aussi à l'efficience énergétique nette (ECEC). Interprétation identique pour les efficacités nettes des systèmes.

	ECPC > 1	ECPC ≈ 1	ECPC < 1
Interprétation pour l'élevage	Production de protéines animales consommables par l'Homme > Consommation de protéines végétales consommables par l'Homme	Production de protéines animales consommables par l'Homme ≈ Consommation de protéines végétales consommables par l'Homme	Production de protéines animales consommables par l'Homme < Consommation de protéines végétales consommables par l'Homme
	Apport net en protéines pour l'Homme	Pas d'apport ou de perte en protéines pour l'Homme	Perte nette en protéines pour l'Homme

Apport net de protéines : apport de protéines réellement consommables par l'Homme par l'élevage bovin viande étudié. Perte nette de protéines : perte de protéines consommables pour l'Homme dans l'élevage bovin viande étudié.

Tableau 6 : Quantités d'herbe consommées (herbe totale, pâturée et conservée) selon les types d'exploitations (d'après Devun et al., 2012)

Type d'exploitation	Herbe totale consommée (kg MS/UGB/j) (Devun et al., 2012) A	Dont herbe pâturée consommée (kg MS/UGB/j) (Devun et al., 2012)	Dont herbe conservée consommée (kg MS/UGB/j) (Devun et al., 2012) B	Ratio (Rhc) = B/A
Naisseur spécialisé	4,64	2,78	1,85	0,40
Naisseur avec cultures	4,38	2,72	1,66	0,38
Naisseur-engraisseur de bœufs spécialisés	4,75	3,18	1,56	0,33
Naisseur-engraisseur de JB spécialisés	4,03	2,49	1,55	0,38
Naisseur-engraisseur de JB avec cultures	3,81	2,55	1,26	0,33
Elevage bovin viande avec hors sol	4,26	2,78	1,49	0,35

Elevage bovin viande avec hors sol : élevage bovins viande avec granivores (volailles, porcs).

Les exploitations de type « Engraisseurs de jeunes bovins » n'ont pas été présentées dans ce tableau car les bovins viande ne consomment pas d'herbe pâturée. Naisseur (-engraisseur) avec cultures = naisseurs(-engraisseurs) en polyculture-élevage ou en grandes cultures

B. Démarche et adaptations pour le calcul des indicateurs d'efficacité alimentaire

1. Les indicateurs d'efficacité alimentaire étudiés

Pour chaque exploitation, a été calculée une série d'indicateurs d'efficacité protéique et énergétique :

- **Efficacité totale**

Les indicateurs de l'efficacité alimentaire totale sont l'Efficacité de Conversion des Protéines Totales (ECPT) et l'Efficacité de Conversion de l'Energie Totale (ECET) (Figure 8).

- **Proportions de Protéines et d'Energie Consommables par l'Homme dans les rations des exploitations** (PPC ration et PEC ration respectivement) (Figure 8)

Ces indicateurs déterminent la part de nutriments végétaux consommables par l'Homme dans les rations consacrées aux bovins viande. Ils permettent donc de quantifier le degré de compétition alimentaire entre un élevage bovins viande et l'alimentation humaine.

Ils ont été calculés à partir des consommations d'aliments végétaux pour les scénarios « actuels » et « potentiels » de valorisation des aliments végétaux en agroalimentaire (« PPC actuelle/potentielle ration », « PEC actuelle/potentielle ration », Annexes II et III).

La contribution des aliments aux protéines et énergie des rations a été également détaillée pour chaque système bovins viande.

- **Efficacité nette**

Les indicateurs de l'efficacité alimentaire nette sont l'Efficacité de Conversion des Protéines Consommables par l'Homme (ECPC) et l'Efficacité de Conversion de l'Energie Consommable par l'Homme (ECEC) (Figure 8). Cette efficacité alimentaire nette permet de déterminer si la production d'un élevage bovin viande génère un gain ou une perte nets de nutriments pour l'alimentation humaine (Tableau 5).

Les indicateurs d'efficacité d'un système correspondent aux moyennes des indicateurs des élevages qui le composent.

2. Calcul des quantités de protéines et nutriments énergétiques consommées par les bovins viande

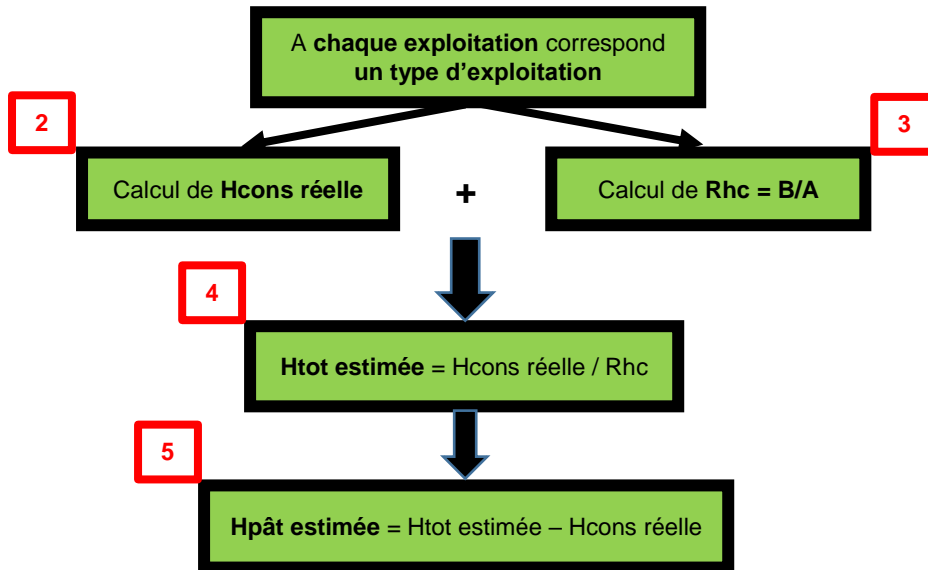
Le calcul de la consommation de protéines et énergie par les bovins viande repose sur les quantités moyennes d'aliments consommés, sur 3 ans, pour chaque aliment consommé, dans chaque exploitation (données de la base Diapason).

Ces consommations moyennes d'aliments ont été ensuite incorporées dans le calcul du dénominateur des formules de calcul des efficacités totales et efficacités nettes. Elles y seront multipliées par les teneurs en protéines et énergie des aliments (Baumont et *al.*, 2007) puis par des proportions de protéines et énergie consommables par l'Homme (pour les efficacités nettes seulement) (Figure 8). Ces dernières sont issues des tables de Proportions Consommables des Matières Premières, déterminées dans le cadre du projet « Efficacité alimentaire des productions animales » (Annexe III ; Laisse et *al.*, 2016).

Deux catégories d'aliments ont fait l'objet d'estimations préliminaires : les fourrages à base d'herbe (herbe pâturée, herbe conservée) et les aliments composés du commerce

- **Calculs des quantités d'herbe pâturée**

L'objectif était de déterminer dans chaque exploitation, les quantités d'herbe pâturée consommées, non renseignées dans la base Diapason. Pour chaque exploitation, ces quantités consommées ont été estimées pour chaque exploitation à partir du ratio entre l'herbe conservée consommée (disponible dans la base Diapason) (Tableau 6) et l'herbe totale consommée estimée dans les travaux de Devun et *al.* (2012) (Figure 9).



Légende :

Rhc (Ratio herbe conservée) = **Hcons estimée** (kg MS/UGB/j) (B)/**Htot estimée** (kg MS/UGB/j) (A) (Tableau 6)
Htot estimée : Quantité (moyenne et estimée) d'herbe totale consommée par les bovins viande d'une exploitation (tMS/an)
Hpât estimée : Quantité (moyenne et estimée) d'herbe pâturée consommée par les bovins viande d'une exploitation (tMS/an)
Hcons réelle : Quantité (moyenne et réelle) d'herbe conservée consommée par les bovins viande d'une exploitation (tMS/an)
Hcons réelle = somme des quantités de fourrages d'herbe conservés, consommés réellement par l'exploitation (base Diapason)

Figure 9 : Démarche de calcul de la quantité d'herbe pâturée (Hpât) par les bovins viande d'une exploitation (quantité moyenne (tMS/an), estimée à partir des données de Devun et al. (2012) (Tableau 6)) Les numéros correspondent aux étapes successives de la démarche de calcul.

$$PPC \text{ aliment actuelle} = \frac{\sum_{i=1}^n (\% \text{ MP vég}_i \times PB_i \times PPC \text{ actuelle}_i)}{\sum_{i=1}^n (\% \text{ MP vég}_i \times PB_i)}$$

Légende :

i : matière première végétale composant l'aliment de commerce étudié
 % MP vég i : Proportion de la matière première végétale i dans l'aliment de commerce étudié
 PPC actuelle i : Proportion de Protéines Consommables de la matière première végétale i dans le scénario « Actuel » de valorisation des matières premières végétales en agroalimentaire ; PB i : teneur en protéines brutes de la matière première i

Figure 10 : Formule de calcul de la Proportion de Protéines Consommables actuelle (PPC actuelle, en % MS) d'un aliment de commerce. Formule applicable pour les PEC des aliments de commerce. Formule applicable aux scénarios « Actuel » et « Potentiel » de valorisation des matières premières végétales en alimentation humaine (Annexe III).

- **Calcul des valeurs MS, MAT et EB des fourrages à base d'herbe**

L'objectif était de déterminer des valeurs nutritives cohérentes pour les fourrages à base d'herbe. Différents critères ont été pris en compte :

- La part de prairies permanentes et prairies temporaires dans chaque exploitation.
- La localisation des exploitations (choix des prairies permanentes).
- Le mode d'exploitation des prairies temporaires (pâturage, fauche) pour choisir les espèces végétales (Huyghe et Delaby, 2013).
- Le stade de récolte de l'herbe, le mode de séchage ou de fanage.

Selon ces critères, une clé de détermination a été élaborée (Annexe IV). Elle permettait pour chaque fourrage, de retrouver les stades végétatifs, modes de récolte et de conservation, avec les valeurs de Protéines Brutes (ou MAT) et d'Energie Brute associées.

A partir de ces valeurs, des valeurs moyennes de Protéines Brutes et d'Energie Brute ont été calculées, pondérées ou non (selon les stades végétatifs, les compositions floristiques, ...) (Annexe IV). Ces valeurs moyennes ont été utilisées dans ce travail comme valeurs MAT et EB des fourrages à base d'herbe (Annexe V).

- **Valeurs nutritives et Proportions Consommables des aliments composés du commerce de la base Diapason**

L'objectif était d'estimer la composition des aliments composés du commerce, consommés dans les élevages étudiés afin de calculer leurs valeurs MAT et EB, puis leurs Proportions Consommables (PPC et PEC, scénarios « Actuel » et « Potentiel »). Différents critères ont été retenus pour formuler ces aliments :

- Informations complémentaires fournies dans la base Diapason : noms commerciaux, quelques éléments de composition, ...
- Valeur MAT (ou Protéines Brutes) annoncée dans la base Diapason.
- Importance de certains aliments du commerce dans les élevages étudiés.

Les compositions des aliments les plus fréquents (9 parmi 14 aliments) ont été déterminées avec les tables de formulation du projet ECOALIM selon 2 conditions : la distance entre les bassins de production et de transformation de ces matières premières et les contextes économiques (entre 2011 et 2014). Pour chaque aliment, une formule moyenne a été retenue (Annexe VI).

Les compositions des aliments du commerce moins fréquents (5 parmi 14 aliments) ont été élaborées avec le logiciel INRATION. Des informations complémentaires dans la base Diapason et une courte étude bibliographique ont permis de choisir des matières premières à incorporer dans INRATION. Leurs proportions ont été ajustées afin d'atteindre la valeur MAT « objectif » de l'aliment, indiquée dans la base Diapason (Annexe VII).

Pour chaque aliment du commerce, ont été calculées les teneurs en Protéines Brutes, Energie Brute ainsi que les Proportions Consommables (Figure 10). Ces dernières (PPC aliment et PEC aliment, actuelle et potentielle pour chaque aliment du commerce) ont été évaluées selon les valeurs PPC et PEC, actuelles et potentielles, des matières premières composant les aliments (Annexe VIII).

3. Calcul des quantités de protéines et d'énergie produites par les bovins viande

Le calcul des quantités de protéines et d'énergie produites par les bovins viande d'un élevage repose sur les poids vifs moyens sur 3 ans, de chaque type de bovin vendu ou acheté. Ces poids vifs moyens ont été multipliés par des teneurs en protéines et énergie correspondantes afin d'obtenir les productions de protéines et d'énergie de chaque élevage.

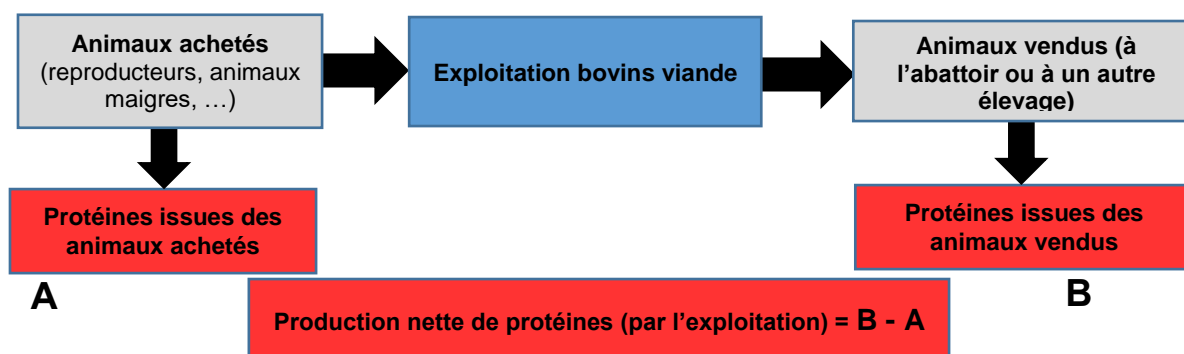


Figure 11 : Démarche d'obtention de la production nette de protéines (kg) dans une exploitation bovins viande
 Protéines issues des animaux vendus = somme des quantités de protéines issues de chaque animal vendu
 Protéines issues des animaux achetés = somme des quantités des protéines issues de chaque animal acheté
 Cette démarche s'applique aussi pour déterminer la production nette d'énergie par une exploitation bovins viande

Tableau 7 : Définitions des scénarios de valorisation des aliments végétaux et des produits animaux en alimentation humaine (Laisse, 2016). Sont détaillés les aliments ou produits animaux pris en compte dans chaque scénario.

Catégorie de scénario	Utilisation dans le travail	Nom du scénario	Éléments pris en compte dans ces scénarios
Valorisation des aliments végétaux en alimentation humaine	Calcul des efficacités totales	« Totaux végétaux »	Tous les aliments végétaux (consommables ou non par l'Homme)
	Calcul des efficacités nettes	« Actuel »	Aliments végétaux consommables par l'Homme actuellement
		« Potentiel »	En plus des aliments du scénario « Actuel », aliments végétaux consommables par l'Homme à l'avenir (si changements habitudes alimentaires, amélioration des process de transformation, ...)
Valorisation des produits animaux en alimentation humaine	Calcul des efficacités totales	« Total animal »	Tous les produits animaux (consommables ou non par l'Homme)
	Calcul des efficacités nettes	« Viande »	Viande, seul produit animal consommable par l'Homme actuellement
		« Total consommé »	Tous les produits animaux consommables par l'Homme actuellement (viande + abats consommés + portion des os et graisses valorisés en alimentation humaine)
		« Total consommable »	En plus des produits animaux du scénario « Total consommé », tous les produits animaux consommables par l'Homme à l'avenir (abats mal valorisés, os, graisses non valorisés actuellement)

Tableau 8 : Scénarios d'étude choisis pour les calculs d'efficacités alimentaires totales (ECPT, ECET) et nettes (ECPC, ECEC). Scénario d'étude = scénarios cochés dans le tableau.

Scénario	Total animal	Viande	Total consommé	Total consommable
Total végétaux	X			
Actuel		X	X	X
Potentiel			X	

Scénario encadré en noir : utilisé pour les calculs des efficacités totales (ECPT, ECET). **Scénarios encadrés en bleu** : utilisés pour les calculs des efficacités alimentaires nettes (ECPC, ECEC). **Scénarios d'étude encadrés en rouge** : utilisés pour mesurer l'effet d'une meilleure valorisation des produits animaux en alimentation humaine, sur l'efficacité alimentaire nette ; **Scénarios d'étude encadrés en vert** : utilisés pour mesurer l'effet d'une meilleure valorisation des aliments végétaux en alimentation humaine, sur les efficacités alimentaires nettes.

Ces teneurs en protéines et énergie animales consommables par l'Homme proviennent des tables des Proportions Consommables des produits animaux (Annexe IX).

Dans les calculs d'efficacité, seules les productions nettes de protéines et d'énergie devaient être prises en compte afin de retenir les quantités de nutriments uniquement produites au sein de l'élevage (numérateur des calculs d'efficacités totales et nettes, Figure 8). Elles ont été obtenues en déduisant les quantités de protéines et énergie issues des animaux achetés de celles des animaux vendus (Figure 11).

Certaines exploitations étudiées produisent surtout des animaux maigres vendus vifs (brouards légers ou lourds surtout). Leurs productions nettes de protéines et énergie ont été déterminées avec la même démarche que des élevages producteurs d'animaux directement abattus (naisseurs-engraisseurs, engraisseurs). Les animaux « maigres » ont été considérés comme des animaux abattus à la sortie d'élevage, avec des rendements carcasse et des teneurs en protéines et énergie estimées (Annexe X). Un coefficient (« Part des animaux abattus dans poids vif produit », en % kg vif) a été calculé pour chaque élevage, afin d'indiquer l'importance de ces animaux vendus maigres dans leur production.

C. Des scénarios qui décrivent les niveaux de valorisation des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine

Ce travail repose sur l'hypothèse que les aliments végétaux, consommés par les bovins viande, et les produits animaux, issus des bovins viande, peuvent être davantage valorisés en alimentation humaine. Des scénarios ont été élaborés afin de mesurer l'effet de ces degrés de valorisation sur l'efficacité alimentaire des systèmes bovins viande.

Pour les aliments végétaux, 3 scénarios ont été construits (scénarios « Total végétal », « Actuel » et « Potentiel »). Pour les produits animaux, 4 scénarios ont été imaginés (« Total animal », « Viande », « Total consommé », « Total consommable ») (Tableau 8).

Ces 2 catégories de scénarios ont été ensuite « croisées » afin d'obtenir des « scénarios d'étude », combinant degrés de valorisation des aliments végétaux et des produits animaux. Le scénario d'étude « Total végétal x Total animal » prend en compte l'ensemble des nutriments végétaux (protéines, énergie) consommés et l'ensemble des nutriments animaux produits dans un élevage. Il sera utilisé pour le calcul des ECPT et ECET des exploitations car il correspond à la définition de l'efficacité totale (Figure 8).

Les scénarios dits « actuels » (scénarios « Actuel x Viande » et « Actuel x Total consommé ») prennent en compte les niveaux de valorisation actuels des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine. Les scénarios dits « d'avenir » (scénarios « Potentiel x Total consommé » et « Potentiel x Total consommable ») prennent en compte les niveaux de valorisation potentiels des aliments végétaux et/ou produits animaux en alimentation humaine (Tableau 8). Les ECPC et ECEC de chaque exploitation seront calculées pour chacun de ces scénarios « actuels » et « d'avenir ».

D. Méthodes d'analyse des résultats d'efficacité alimentaire

• Présentation des résultats des indicateurs d'efficacité

Les indicateurs d'efficacité totale et les valeurs « PPC actuelle ration » et « PEC actuelle ration » ont été présentés dans les tableaux de résultats. Parmi les efficacités nettes, seules celles du scénario d'étude « Actuel x Total consommé » ont été reprises. Ce scénario a été choisi car il est le plus représentatif de la valorisation actuelle des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine.

Deux des 144 exploitations n'ont pas été prises en compte dans les résultats et leur analyse. La première exploitation (du système Naisseur légers des Pays de Loire) présentait des ECPC tendant vers l'infini car aucun aliment consommé dans cet élevage n'était consommable par l'Homme (dénominateur nul, dans calcul des ECPC et ECEC). Elle a été retirée pour parvenir à calculer les moyennes d'ECPC et ECEC du système Naisseur légers des Pays de Loire.

Tableau 9 : Variables (35) codées utilisées dans l'étude des variations d'efficacités alimentaires intra-système (base Diapason). Ces variables ont été calculées pour chaque exploitation à partir des données de la base Diapason. Variables regroupées en 6 catégories (variables alimentaires, liés aux productions animales, ...).

Nature des variables	Variables (35 variables au total)	Code variables (pour ACP)
Variables alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de concentrés consommés/UGB (kgMS/UGB) - Part des ensilages de maïs et sorgho dans la ration (% tMS de ration) - Parts herbe (herbe totale, herbe pâturée et herbe conservée) dans ration (% tMS de ration) - Parts céréales, tourteaux, coproduits et aliments de commerce dans ration (% tMS de ration) - Part paille + pulpe de betterave surpressée dans ration (% tMS de ration) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conc - Ens - Htot, Hpât, Hcons - Cér, Tour, Copr, Acom - Ppu
Variables alimentaires en lien avec production d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de concentrés consommés/kg de poids vif produit (kg MS/kg vifs) - Quantité de concentrés consommés/kg de viande produite (kg MS/kg viande) 	<ul style="list-style-type: none"> - ConcPV - ConcVia
Variables liées à la production d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Poids vif total produit (kg vifs) - Poids vif produit/UGB (kg vifs/UGB) - Poids carcasse produit/UGB (kg carcasse/UGB) - Part animaux abattus dans poids vif produit (% kg vifs) 	<ul style="list-style-type: none"> - PV - PVUGB - Pcar - Aaba
Variables zootechniques	<ul style="list-style-type: none"> - IVV (mois), Productivité numérique (%) - Taux de mortalité (%), GMQ (g/j) 	<ul style="list-style-type: none"> - IVV, Pnum - Mort, GMQ
Variables structurelles	<ul style="list-style-type: none"> - Chargement (UGB/ha SFP) et charge de travail (UGB/UMO) - Part SFP dans SAU (% ha SAU) - Part cultures de ventes dans SAU (% ha SAU) - Part STH dans la SFP (% ha SFP) - Part surfaces en maïs ou sorgho fourragers dans la SFP (% ha SFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - Char, Chtr - SFP - Cult - STH - mSFP
Variables économiques	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité économique EBE/PB et et EBE/UMO (€/UMO) - Revenu Disponible/UMO (€/UMO) - Part charges opérationnelles dans charges totale (% €) - Part charges opérationnelles atelier BV/charges opérationnelles totales (% €) - Part produit atelier BV/produit brut total (% €) - Frais d'élevage/UGB, Coût alimentaire/UGB, Coût concentrés/UGB (€/UGB) - Part coût alimentaire dans charges opérationnelles (% €) 	<ul style="list-style-type: none"> - EBE, EBetr - RDtr - OpTo - OpBV - PrBV - Fr, CoAl, CoCo - CoOp

1^{er} volet :

$$\frac{\text{ECPC "Actuel x Total consommé"} - \text{ECPC "Potentiel x Total consommé"}}{\text{ECPC "Actuel x Total consommé"}}$$

2^{ème} volet :

$$\frac{\text{ECPC "Actuel x Total consommé"} - \text{ECPC "Actuel x Total consommable"}}{\text{ECPC "Actuel x Total consommé"}}$$

Figure 12 : Formule de calcul des variables expliquées, utilisées pour décrire l'évolution de l'ECPC lors d'une meilleure valorisation des aliments végétaux (1^{er} volet) et des produits animaux (2^{ème} volet) en alimentation humaine. Entre guillemets, les scénarios des ECPC utilisées dans les calculs.

La deuxième exploitation (du système Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est) possédait une valeur ECPC très élevée (16) et était le seul naisseur-engraisseur de bœufs de ce système.

- **Première approche des variations inter-systèmes des efficacités alimentaires**

Afin de déterminer si le système bovins viande avait un effet significatif sur les indicateurs d'efficacité, des analyses de variance à 1 facteur au risque d'erreur standard de 5 % ont été réalisées pour chaque indicateur d'efficacité (facteur = système, variable expliquée = indicateur d'efficacité). Ces analyses ont été complétées par des comparaisons de moyennes par le test de Student, au risque d'erreur de 5 %, afin de détecter les systèmes plus efficaces significativement.

- **Première approche des variations intra-systèmes de l'efficacité protéique nette**

L'objectif général de cette 1^{ère} approche était de mieux caractériser la variabilité de l'ECPC au sein des systèmes. Des graphiques de type « boîte à moustache » ont été construits pour chaque système afin de mieux évaluer la variabilité d'ECPC des exploitations.

- **Deuxième approche des variations inter-systèmes et intra-systèmes des efficacités alimentaires : l'Analyse en Composantes Principales (ACP)**

Cette ACP avait pour but de trouver des variables corrélées aux indicateurs d'efficacité alimentaire et de déterminer les variables capables d'expliquer les variations d'efficacité au sein de certains systèmes. Les 35 variables actives utilisées dans cette ACP devaient décrire l'alimentation, la conduite d'élevage, les performances zootechniques, l'assolement et les résultats économiques de l'exploitation (Tableau 9 ; Annexe XI).

Les effectifs entre grandes catégories de systèmes étant inégaux (81 exploitations « naisseurs », 52 exploitations « naisseurs-engraisseurs », 11 exploitations « engraisseurs »), ces variables actives ont été pondérées (coefficient de pondération pour le système engraisseur = 11/81 (effectif des naisseurs)). Elles ont été ensuite centrées - réduites ((écarts à la moyenne)/écart type, moyenne et écart-type propres à chaque système), afin de limiter les effets de variance dus aux unités des variables.

Tous les indicateurs d'efficacité ont été considérés comme des variables illustratives, projetées sur le cercle de corrélation.

Le coefficient de corrélation de Kendall, non paramétrique, a été choisi pour cette ACP. Les données ne devraient pas suivre la loi Normale (trop de données d'efficacité jugées « extrêmes »). Étant donné qu'il existe un risque d'ex aequo entre 2 variables, la corrélation de rang de Kendall (τ , tau) a été préférée à la corrélation de Spearman (www.jybaudot.fr).

- **Étude des variations d'ECPC inter-système selon le niveau de valorisation des aliments végétaux puis des produits animaux en alimentation humaine**

Cette étude comporte 2 volets :

- Détecter les systèmes dont l'ECPC est plus sensible ou plus résistante lorsqu'il y a une meilleure valorisation en alimentation humaine des aliments végétaux pour bovins viande.
- Déterminer les systèmes dans lesquels l'ECPC profite d'une meilleure incorporation des produits animaux en alimentation humaine.

Pour chaque volet, a été réalisée sur RCommander une analyse de variance à 1 facteur complétée par un test de Student (comparaison de moyennes) au risque d'erreur de 5 %. Les variables expliquées sont détaillées Figure 12. Pour chaque système, ont été comparées les ECPC des scénarios « Actuel x Total consommé » et « Potentiel x Total consommé » (1^{er} volet) puis « Actuel x Total consommé » et « Actuel x Total consommable » (2^{ème} volet).

Tableau 10 : Quelques variables (9) caractéristiques des 8 systèmes bovins viande étudiés (base Diapason). Variables de nature alimentaire, de production d'animaux, structurelles et économiques. Données extraites des tableaux en Annexe XI.

Modèle de présentation des valeurs : moyenne +/- écart-type.

Système bovin viande	SFP dans SAU (% ha SAU)	STH dans SFP (% ha SFP)	EBE/UMO (€/UMO)	Coût alimentaire/ UGB (€/UGB)	Conc /UGB (kg MS/UGB)	Ensilage de maïs dans ration (% tMS de ration)	Herbe totale dans ration (% tMS de ration)	Poids vif produit/UGB (kg vif/UGB)	Part animaux abattus dans poids vif produit (% kg vif)
Naiss légers Massif Central	83,2 +/-18,1	46,2 +/-28,9	51580 +/-16868	124 +/-48,7	465 +/-212	1,92 +/-3,80	91,1 +/-5,28	284 +/-41,4	36,0 +/-19,1
Naiss lourds Massif Central	90,5 +/-8,60	66,8 +/-25,2	50521 +/-15923	158 +/-39,8	583 +/-184	3,28 +/-5,09	86,5 +/-6,80	335 +/-54,7	39,7 +/-21,5
Naiss-engrais de JB Massif Central	79,3 +/-18,8	45,0 +/-28,1	59470 +/-26573	208 +/-48,2	798 +/-256	10,3 +/-8,33	79,0 +/-9,70	357 +/-52,2	86,5 +/-13,6
Naiss légers Pays de Loire	84,6 +/-9,98	34,8 +/-21,7	43324 +/-16484	78,7 +/-32,6	197 +/-129	5,79 +/-9,38	90,6 +/-10,7	290 +/-56,7	46,8 +/-25,5
Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	78,6 +/-10,6	33,7 +/-26,8	47287 +/-13856	210 +/-108	776 +/-456	12,58 +/-10,5	75,9 +/-14,9	400 +/-177	92,2 +/-9,15
Naiss Grand Est	52,3 +/-28,6	96,5 +/-6,54	60767 +/-30873	128 +/-113	451 +/-3189	3,17 +/-6,12	86,6 +/-9,67	316 +/-123	45,0 +/-16,9
Naiss-engrais de JB Grand Est	53,1 +/-17,0	90,7 +/-7,93	56299 +/-13365	192 +/-55,8	763 +/-340	11,7 +/-10,9	70,4 +/-23,6	453 +/-68,8	93,1 +/-8,19
Engrais de JB	39,9 +/-26,3	21,9 +/-12,8	62532 +/-33927	595 +/-261	1955 +/-1347	29,1 +/-17,5	8,28 +/-7,51	1341 +/-609	100 +/-0,00

Conc : Concentrés (céréales, graines oléagineuses et protéagineuses, tourteaux, coproduits (céréalières et autres))

Légende des 8 systèmes bovins viande étudiés, commune au tableau 10, aux figures 13, 16 et 17 et à la légende de la figure 15 :

Naiss légers Massif Central : Naisseur de broutards légers du Massif Central

Naiss lourds Massif Central : Naisseur de broutards lourds du Massif Central

Naiss-engrais de JB Massif Central : Naisseur-engraisseur de jeunes bovins du Massif Central

Naiss légers Pays de Loire : Naisseur de broutards légers des Pays de Loire

Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire : Naisseur-engraisseur de jeunes bovins et bœufs des Pays de Loire

Naiss Grand Est : Naisseur de broutards du Grand Est

Naiss-engrais de JB Grand Est : Naisseur-engraisseur de jeunes bovins du Grand Est

Engrais de JB : Engraisseur de jeunes bovins tous bassins (Grand Est et Pays de Loire)

Légende commune aux tableaux 11 et 12 : Différence significative des moyennes d'efficacité alimentaire entre systèmes

a, b, c, d : pour un même indicateur d'efficacité, les systèmes partageant une même lettre ne sont significativement différents (analyse de variance au risque d'erreur 5%, détails en Annexe XII).

II. Résultats

A. Huit systèmes bovins viande avec des caractéristiques bien différentes

Le tableau 10 présente les principales caractéristiques des systèmes bovins viande étudiés.

Entre 35 et 50 % du poids vif produit dans les systèmes naisseurs de broutards est issu d'animaux abattus à la sortie d'exploitation (génisses, vaches de réforme). Dans les systèmes naisseurs-engraisseurs étudiés, il provient à plus de 90 % d'animaux lourds abattus (jeunes bovins, vaches de réforme). Enfin, le système Engraisseur produit des animaux tous abattus, 3 à 4 fois plus lourds que dans les systèmes naisseurs-engraisseurs.

Les systèmes du Massif Central et des Pays de Loire ont la majorité de leur SAU consacrée aux bovins viande (SFP = 80 à 100 % SAU). Dans le Massif Central, la STH occupe 40 à 60 % de la SFP alors qu'elle ne dépasse pas 30 % de la SFP en Pays de Loire. Dans les systèmes du Grand Est, la SFP ne représente que la moitié de la SAU mais elle est composée de prairies permanentes (90 % de la SFP). Le système Engraisseur ne consacre que 40 % de sa SAU aux bovins viande, avec peu de prairies permanentes (30 % SFP).

Sur le plan économique, les EBE/UMO sont assez homogènes d'un système à l'autre (autour de 50 000€/UMO). Les coûts alimentaires sont plutôt faibles dans les systèmes naisseurs légers et plus élevés dans les systèmes naisseurs-engraisseurs et engraisseur. Pour certaines variables, les écarts-types sont très importants (Conc/UGB, EBE/UMO, ...) surtout dans les systèmes naisseurs légers.

B. Des efficacités totales et énergétiques nettes faibles mais des systèmes contributeurs nets de protéines pour l'alimentation humaine

Le tableau 11 présente les moyennes et écart-type des **3 principaux indicateurs d'efficacité protéique**, dans les 8 systèmes étudiés.

- **L'herbe, source principale de protéines, sauf pour le système Engraisseur**

A l'exception du système Engraisseur de jeunes bovins, les systèmes bovins viande ont l'herbe (pâturée et conservée) comme principale source de protéines (plus de 70 % des protéines de leur ration). Dans le système Engraisseur, seules 8 % des protéines totales sont apportées par l'herbe. Elles sont surtout fournies par les concentrés de type tourteaux ou coproduits céréaliers (26 % et 16 % des protéines totales respectivement), et par les fourrages (pulpe de betterave surpressée et ensilage de maïs). Dans les systèmes naisseurs, peu de protéines sont apportées par les concentrés ou par l'ensilage de maïs (moins de 10 % des protéines, un peu plus dans le système Naisseur lourds). Les naisseurs-engraisseurs sont nourris avec des protéines issues de concentrés (près de 20 %, tourteaux surtout) ou d'ensilage de maïs.

- **Des efficacités protéiques totales très faibles, sauf pour le système Engraisseur**

Les valeurs d'ECPT de la plupart des systèmes étudiés sont comprises entre 0,04 et 0,08 et sembleraient légèrement plus élevées dans les systèmes du Grand Est. Le système Engraisseur de JB est le seul système avec une valeur moyenne ECPT significativement plus élevée que celles des autres systèmes (ECPT = 0,158, $P < 0,001$, $\alpha = 5 \%$, Annexe XII).

Tableau 11 : Valeurs moyennes et écart-types des indicateurs d'efficacité protéiques des 8 systèmes bovins viande étudiés. 142 exploitations réparties en 8 systèmes. Indicateurs d'efficacité protéique : ECPT, PPC actuelle ration et ECPC. Modèle de présentation des valeurs : moyenne +/- écart-type.

Bassin	Massif Central			Tous bassins
Systèmes	Naisseur légers	Naisseur lourds	Naisseur-engraisseur de JB	Engraisseur de JB
Nombre d'exploitations	21	30	19	11
Contribution aliments aux Protéines totales de la ration (% kg de protéines)				
ECPT	0,046 +/-0,020 a	0,057 +/-0,010 a	0,058 +/-0,015 a	0,16 +/-0,184 b
PPC actuelle ration (%)	3,34 +/-1,95 ac	4,04 +/-1,71 ac	5,88 +/-2,09 c	15,3 +/-8,43 b
ECPC	1,09 +/-0,80 acd	0,99 +/-0,41 acd	0,66 +/-0,21 ac	0,90 +/-0,36 acd
Bassin	Pays de Loire		Grand Est	
Systèmes	Naisseur légers	Naisseur-engraisseur de JB et de bœufs	Naisseur	Naisseur-engraisseur de JB
Nombre d'exploitations	12	21	19	9
Contribution aliments aux Protéines totales de la ration (% kg de protéines)				
ECPT	0,049 +/-0,017 a	0,050 +/-0,018 a	0,068 +/-0,078 a	0,076 +/-0,028 a
PPC actuelle ration (%)	1,41 +/-1,02 a	5,88 +/-3,11 c	2,42 +/-1,73 ac	4,40 +/-1,89 ac
ECPC actuelle	3,63 +/-3,08 b	0,75 +/-0,41 acd	1,81 +/-1,43 ad	1,06 +/-0,41 acd

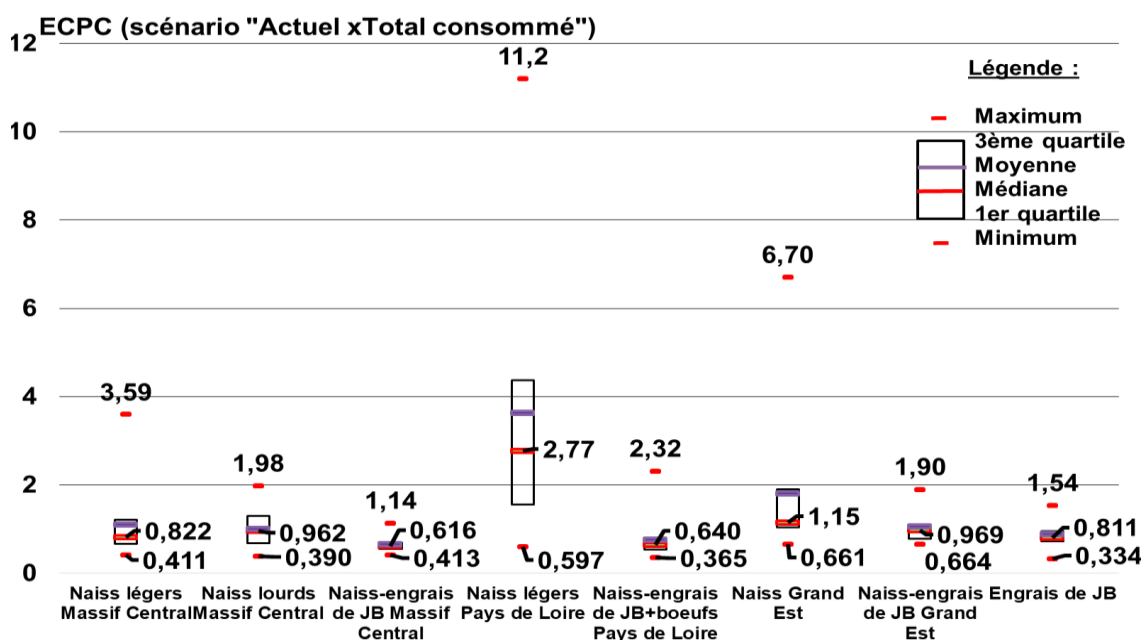


Figure 13 : Variabilité intrasystème de l'efficacité protéique nette des systèmes bovins viande étudiés (1^{ère} approche). Efficacités protéiques nettes du scénario « Actuel x Total consommé » utilisées.

- **Dans les rations, des protéines assez peu consommables par l'Homme**

En moyenne, les PPC des rations sont assez faibles et varient entre 3 et 6 %. Celle du système Engraisseur est significativement plus élevée ($P < 0,001$, $\alpha = 5\%$, Annexe XII) avec 15,3 % des protéines de la ration consommable par l'Homme. Le système Engraisseur de jeunes bovins consomme donc davantage de protéines consommables par l'Homme. A l'opposé la PPC ration du système Naisseur légers des Pays de Loire est significativement plus faible que celles des systèmes Engraisseur de jeunes bovins et Naisseur-engraisseurs du Massif Central et des Pays de Loire ($P = 0,0068$ et $0,022$ respectivement, $\alpha = 5\%$, Annexe XII). En effet, seul 1,4 % des protéines de sa ration est consommable par l'Homme.

- **Des systèmes souvent contributeurs nets de protéines dans l'alimentation humaine, à l'exception de certains naisseurs-engraisseurs**

L'ensemble des systèmes naisseurs et le système Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est sont contributeurs nets de protéines pour l'alimentation humaine. Le système Engraisseur de JB présente une valeur ECPC très proche de 1 (0,90). Seuls les systèmes naisseurs-engraisseurs du Massif Central et des Pays de Loire ont des ECPC moyennes plus faibles (0,67 et 0,75 respectivement).

Le système Naisseur légers des Pays de Loire possède une efficacité protéique nette significativement supérieure à celles des autres systèmes ($ECPC = 3,63$, $P < 0,001$, $\alpha = 5\%$). Le système Naisseur du Grand Est semble aussi se détacher, avec une valeur ECPC supérieure à celle du système Naisseur-engraisseur de JB du Massif Central ($P = 0,035$, $\alpha = 5\%$) (Annexe XII).

Les écarts-types sont importants, surtout autour des valeurs moyennes d'ECPC. Les systèmes Naisseur légers des Pays de Loire et Naisseur du Grand Est ont les écart-types les plus larges, ceux des systèmes Engraisseur de JB et naisseurs-engraisseurs paraissent plus modérés.

- **Des variations d'ECPC souvent dues à quelques exploitations très efficaces**

La figure 13 illustre la variabilité des ECPC des exploitations au sein de chaque système. Dans tous les systèmes, plus de la moitié des exploitations ont des valeurs ECPC inférieures à la valeur moyenne (valeur médiane proche ou inférieure à la moyenne).

Les 2 systèmes naisseur légers et le système Naisseur du Grand Est présentent les plus fortes variations d'ECPC intra-systèmes. Les valeurs moyennes d'ECPC des systèmes Naisseur légers du Massif Central et Naisseur du Grand Est paraissent influencées par les valeurs d'ECPC élevées de quelques exploitations car près de 75 % des exploitations de ces systèmes ont des ECPC inférieures à l'ECPC moyenne. Dans le système Naisseur légers des Pays de Loire, la variabilité intra-système d'ECPC semble encore plus importante. Cependant, les exploitations de ce système sont mieux réparties : 75 % des exploitations ont des ECPC comprises entre les 1^{er} et 3^{ème} quartiles. La valeur moyenne de ce système pourrait être moins influencée par une exploitation très efficace car davantage d'exploitations ont des valeurs ECPC supérieures à la moyenne.

Dans les autres systèmes (systèmes Naisseur lourds du Massif Central, naisseurs-engraisseurs et engraisseur), les variations d'ECPC intra-systèmes paraissent moins importantes (écarts entre valeurs minimum et maximum faibles). Les valeurs moyennes, très proches des valeurs médianes, ne semblent pas influencées par des exploitations très efficaces.

Le tableau 12 présente les valeurs moyennes et écarts-types **des 3 indicateurs d'efficacité énergétique**, pour chaque système.

- **L'herbe est aussi une source essentielle d'énergie, sauf pour le système Engraisseur**

A l'exception du système Engraisseur de JB, la majeure partie de l'énergie totale des rations est apportée par l'herbe (> 60 % de l'énergie consommée). Dans les systèmes naisseurs, moins de 10 % de l'énergie est apportée par des céréales ou de l'ensilage de maïs.

Tableau 12 : Valeurs moyennes et écart-types des indicateurs d'efficacité énergétique des 8 systèmes bovins viande étudiés. 142 exploitations réparties en 8 systèmes. Indicateurs d'efficacité énergétique : ECET, PEC actuelle ration et ECEC. Modèle de présentation des valeurs : moyenne +/- écart-type.

Bassin	Massif Central			Tous bassins
Systèmes	Naisseur légers	Naisseur lourds	Naisseur-engraisseur de JB	Engraisseurs de JB
Nombres d'exploitations	21	30	19	11
Contribution aliments à l'Energie totale de la ration (% kcal)				
ECET	0,030 +/-0,014 a	0,035 +/-0,0061 a	0,035 +/-0,0087 a	0,076 +/-0,088 b
PEC actuelle ration (%)	5,19 +/-2,79 a	6,11 +/-2,96 acd	10,5 +/-4,07 cd	21,8 +/-10,89 b
ECEC actuelle	0,27 +/-0,18 a	0,27 +/-0,13 a	0,14 +/-0,06 a	0,19 +/-0,11 a

Bassin	Pays de Loire		Grand Est	
Systèmes	Naisseur légers	Naisseur-engraisseur de JB et de bœufs	Naisseur	Naisseur-engraisseur de JB
Nombre d'exploitations	12	21	19	9
Contribution aliments à l'Energie totale de la ration (% kcal)				
ECET	0,031 +/-0,010 a	0,035 +/-0,013 a	0,038 +/-0,042 a	0,044 +/-0,013 ab
PEC actuelle ration (%)	3,60 +/-3,34 ad	10,7 +/-5,05 cd	3,78 +/-3,01 a	7,45 +/-4,16 acd
ECEC actuelle	0,78 +/-0,87 b	0,17 +/-0,14 a	0,46 +/-0,41 a	0,22 +/-0,056 a

Légende des tableaux 11 et 12 : Code couleur des aliments à l'origine des protéines et énergie des rations

Code	Aliment végétal	Code	Aliment végétal
	Herbe (pâturée, conservée)		Pulpe de betterave surpressée, paille
	Ensilage de maïs ou de sorgho		Oléagineux et protéagineux (graines)
	Céréales		Autres concentrés (luzerne déshydratée)
	Tourteaux		Autres coproduits (mélasse, ...)
	Coproduits céréaliers		

Légende de la figure 15 : Lettre caractéristique de chaque système bovin viande étudié (142 élevages considérés, répartis en 8 systèmes). Dans la figure 15, chaque élevage sera représenté par la lettre de son système et par un nombre différent.

Système	Naiss légers Massif Central	Naiss lourds Massif Central	Naiss - engrais de JB Massif Central	Naiss légers Pays de Loire	Naiss - engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Naiss Grand Est	Naiss - engrais de JB Grand Est	Engrais de JB
Nombre d'élevages	21	30	19	12	21	19	9	11
Lettre	A	B	C	D	E	F	G	H

Dans le système Naisseur légers des Pays de Loire, l'ensilage de maïs remplace une partie des concentrés dans l'apport d'énergie.

Les systèmes naisseurs-engraisseurs sont surtout approvisionnés en énergie par l'herbe mais une part de l'énergie de la ration provient de l'ensilage de maïs. Le système Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire semble en dépendre davantage que les 2 autres systèmes naisseurs-engraisseurs (18 % de l'énergie de la ration).

Dans le système Engraisseur de JB, l'énergie totale est surtout apportée par l'ensilage de maïs (31% de l'énergie consommée) et la pulpe de betterave surpressée (27 % de l'énergie consommée). Le reste de l'énergie consommée est issue de concentrés très divers.

- **Des systèmes avec des efficacités énergétiques totales souvent très proches**

Comme les valeurs d'efficacités ECPT, les valeurs ECET des systèmes étudiés sont très faibles mais aussi très semblables (entre 0,03 et 0,04), à l'exception des systèmes Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est et Engraisseur de JB. Le système Engraisseur de JB possède en effet une efficacité énergétique totale supérieure à celle des autres systèmes (ECET = 0,076, $P < 0,001$, $\alpha = 5 \%$, Annexe XII). Seule la valeur ECET du système Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est n'en est pas significativement différente.

- **L'énergie des rations des naisseurs-engraisseurs et engraisseurs est davantage consommable par l'Homme que celle des naisseurs**

Dans les systèmes naisseurs, l'énergie de la ration est très peu consommable par l'Homme (PEC ration $< 5 \%$) par rapport à celle des naisseurs-engraisseurs et engraisseurs (PEC ration $> 10 \%$).

Le système Engraisseur de JB possède une PEC ration plus élevée que celle des autres systèmes (PEC ration = 21,8 %, $P < 0,0010$, $\alpha = 5 \%$). Les systèmes Naisseur-engraisseurs de JB et de bœufs des Pays de Loire et du Massif Central ont des PEC ration très proches (10,7 % et 10,5 % respectivement.) et significativement plus élevées que celles des systèmes Naisseur légers des Pays de Loire et Naisseur du Grand Est. Le système Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est diffère des autres naisseurs-engraisseurs car sa part d'énergie consommable est modérée et proche de celle des systèmes naisseurs.

- **Aucun système n'est contributeur net d'énergie pour l'alimentation humaine**

Tous les systèmes bovins viande étudiés ont des valeurs d'ECEC inférieures à 1. Les systèmes naisseurs contributeurs nets de protéines paraissent présenter des valeurs ECEC plus élevées que celles des systèmes naisseurs-engraisseurs et engraisseur. Seul le système Naisseur légers des Pays de Loire a une efficacité énergétique significativement plus élevée que celle de tous les autres systèmes étudiés (ECEC = 0,78).

C. Une analyse des facteurs capables de conditionner les efficacités et les variations intra-systèmes d'efficacité protéique nette

Les résultats de l'ACP (Figures 14 et 15, Annexes XIII, XIV et XV), vont aider à déterminer les variables corrélées aux indicateurs d'efficacité (à l'ECPC surtout) puis à mettre en évidence des facteurs expliquant les variations d'ECPC intra-systèmes de certains systèmes.

L'inertie du plan principal (axes 1 et 2) ne représente que 30,1 % de la variabilité. Les axes 3 et 4 ont été retenus pour améliorer cette inertie (12,3 % de la variabilité expliquée, Annexe XIII). Certaines variables avaient des contributions plus importantes à certains axes (Annexe XIV). Ces variables actives ont été les premières utilisées pour caractériser les axes.

- **Des exploitations qui diffèrent selon les niveaux d'intensification et de spécialisation de la production de bovins viande**

L'axe 1 traduit le niveau d'intensification de la production, via la consommation de concentrés (variables « Quantités de concentrés consommées/UGB » et de coûts alimentaires fortement corrélées positivement à l'axe).

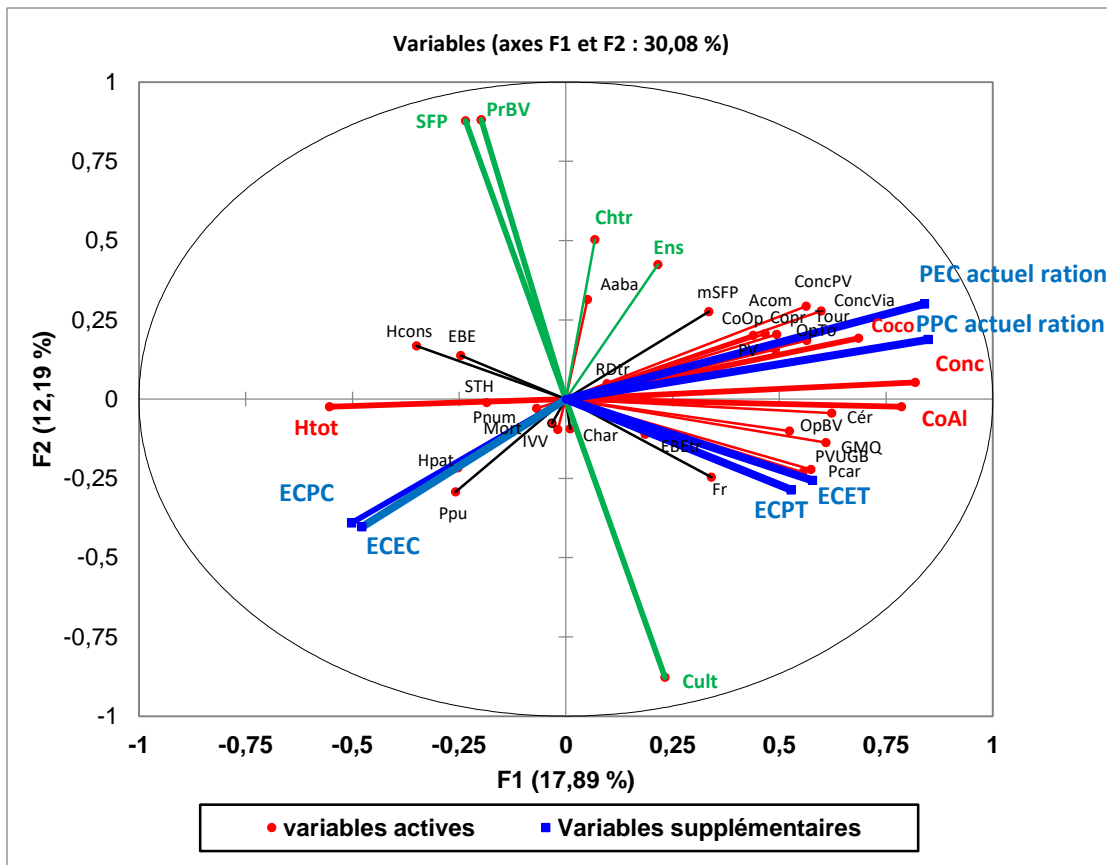


Figure 14 : Cercle de corrélation regroupant les 35 variables actives testées et les 6 variables illustratives (indicateurs d'efficacité alimentaires) (ExcelStat).

Les variables en bleu : variables illustratives (ou supplémentaires) : variables des indicateurs d'efficacité.

Les variables en rouge : variables actives corrélées à l'axe 1.

Les variables en vert : variables actives bien corrélées à l'axe 2.

Les variables actives tracées en gras sont les principales variables contributrices et les variables les mieux corrélées, aux axes correspondants.

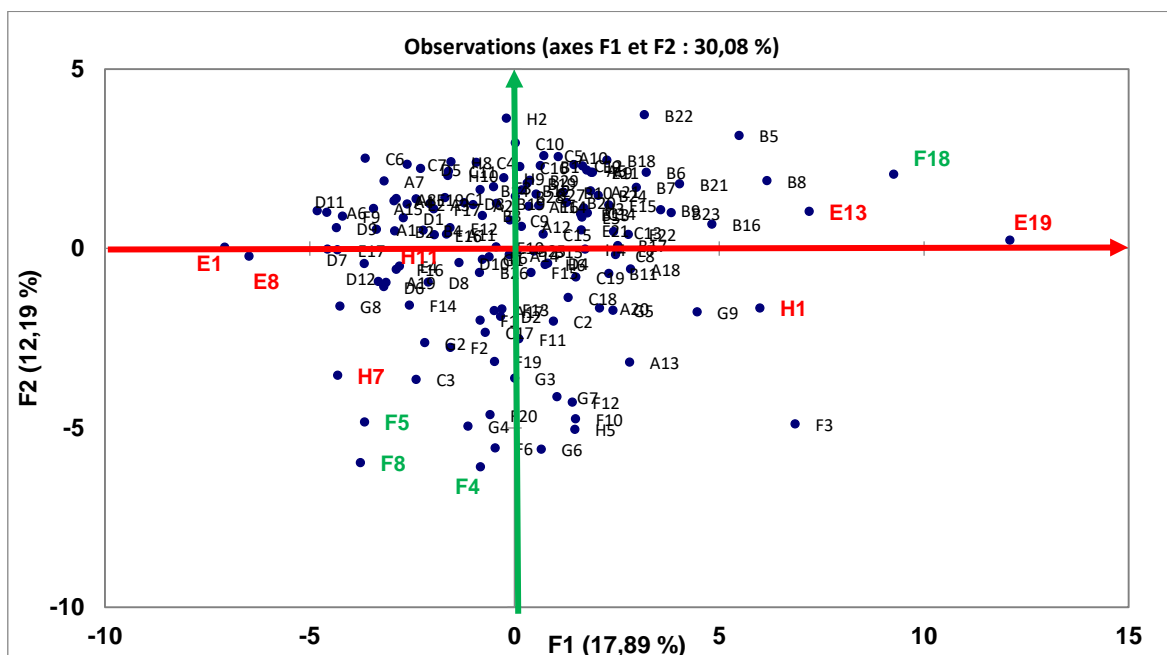


Figure 15 : Graphique des individus dans le plan 1 formé des axes 1 et 2 (ExcelStat). 142 exploitations représentées dans ce plan. Axe rouge : axe 1 ; Axe vert : axe 2 ; Certaines exploitations « caractéristiques » pour l'étude des variations d'efficacité intra-système (partie Discussion) : en rouge, les exploitations liées à l'axe 1 ; en vert, les exploitations liées à l'axe 2.

D'autres variables sont corrélées positivement à cet axe (les parts des différents concentrés dans la ration, les quantités de concentrés consommées/kg de poids vif ou de viande, ...). Au contraire, la variable « Part de l'herbe totale dans la ration » y est corrélée négativement (Annexe XIV). Cet axe discrimine donc les exploitations grosses consommatrices de concentrés, avec des conduites d'élevage intensives (engraissement) et des coûts alimentaires élevés, aux exploitations basées sur la consommation d'herbe (conservée et pâturée), moins intensives et plus économes.

L'axe 2 représente le niveau de spécialisation en élevage bovins viande. Les exploitations spécialisées en bovins viande (variables « Part de l'atelier bovin viande dans produit brut » et « Part de SFP dans SAU », « Part ensilage de maïs dans ration » et « Charge de travail » corrélées positivement à l'axe) s'opposent aux exploitations diversifiées en polyculture-élevage ou en grandes cultures (« Part cultures de ventes dans SAU », corrélées négativement à l'axe, Annexe XIV).

L'axe 3 n'est représenté que par une seule variable (« EBE/PB » ou efficacité économique, corrélée positivement). Les exploitations avec une bonne efficacité économique s'opposent aux autres exploitations moins efficaces économiquement. L'axe 4 traduit surtout la nature du système fourrager. Les exploitations avec une part importante d'ensilage de maïs dans leur ration s'opposent aux exploitations basées sur l'herbe pâturée (Annexe XIV).

Dans la suite du travail, le plan 1 (axes 1 et 2) sera analysé en priorité car c'est celui qui explique le plus de variabilité.

- **Des indicateurs d'efficacité surtout liés au niveau d'intensification**

Les différents indicateurs d'efficacités sont surtout corrélés à l'axe 1. Les indicateurs d'efficacité nettes y sont corrélées négativement ($\tau \approx -0,50$) alors que les indicateurs d'efficacités totales et de Proportions consommables de ration y sont corrélées positivement ($\approx 0,50$ et $\approx 0,80$ respectivement) (Annexe XV). Seuls les indicateurs d'efficacités nettes semblent moyennement corrélés à l'axe 2 (pour l'ECPC, $\tau = -0,39$).

Les exploitations avec des ECPC et ECEC élevées (> 1) consomment donc peu de concentrés (céréales, tourteaux surtout), peu d'ensilage de maïs (corrélations entre ECEC et la variable « Part d'ensilage de maïs dans la ration » : $-0,55$), pratiquent peu d'engraissement intensif avec concentrés et leurs coûts alimentaires seraient faibles. Ces exploitations consomment également des fourrages de type coproduits (paille, pulpe surpressée).

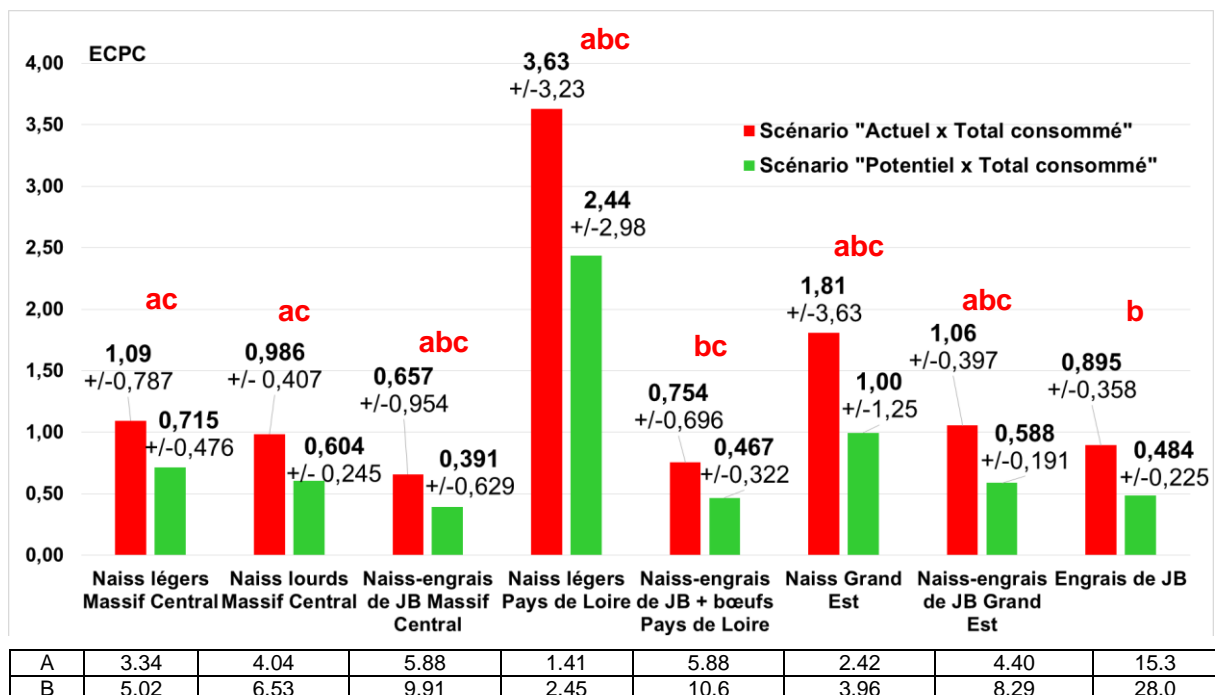
L'herbe (pâturée ou conservée) ne ressort pas comme variable caractéristique des exploitations aux ECPC et ECEC fortes.

Au contraire, les exploitations avec de fortes efficacités totales et de fortes PPC et PEC ration sont caractérisées par des consommations importantes d'aliments de commerce et tourteaux, et par l'engraissement des bovins produits (corrélations avec « Poids carcasse/UGB », « GMQ », « concentrés/kg poids vif ou kg de viande élevées). De plus, ces exploitations consomment peu d'herbe (par rapport à l'ensilage de maïs ou aux concentrés).

- **Des variations d'efficacité intra-système expliquées en partie par l'intensification**

Certaines des 142 exploitations étudiées semblent se détacher du nuage central de points. Les exploitations des systèmes Engraisseur de JB (H1, H7, H11 pour l'axe 1, H5, H2, H7 pour l'axe 2) et Naisseur-engraisseur de JB + bœufs des Pays de Loire (E19, E13, E1 pour l'axe 1) contribuent le plus à la construction des axes 1 et 2.

Les 8 systèmes que nous avons définis ne sont pas discriminés clairement par l'ACP. Des exploitations d'un même système peuvent être positionnées très différemment sur le plan des axes 1 et 2. Par exemple, les exploitations E1 et E8 (Naisseur-engraisseur de JB + bœufs des Pays de Loire) correspondraient à des exploitations peu intensives, avec peu de concentrés alors que les exploitations E19 ou E13 auraient une production intensive d'animaux engraisés avec concentrés (de même pour des exploitations du système Engraisseur de JB, Figure 15).



A : PPC ration « Actuel » (% MS) ; B : PPC ration « Potentiel » (% MS)

Figure 16 : Effet d'une meilleure valorisation des aliments végétaux en alimentation humaine, sur les efficacités protéiques nettes, actuelle et potentielle, et sur les PPC rations des systèmes bovins viande. Etude sur 142 exploitations réparties en 8 systèmes. Modèle de présentation des valeurs : moyenne +/- écart-type.

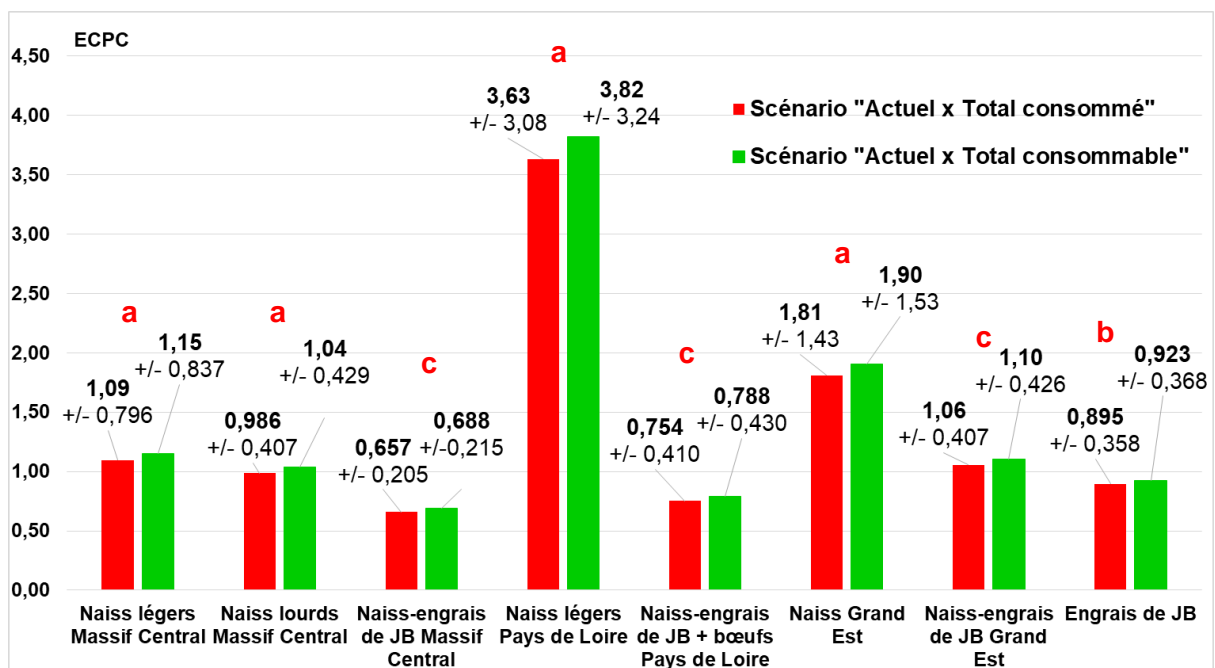


Figure 17 : Effet d'une meilleure valorisation des produits animaux en alimentation humaine, sur les efficacités protéiques nettes, des systèmes bovins viande. Etude sur 142 exploitations réparties en 8 systèmes.

Modèle de présentation des valeurs : moyenne +/- écart-type.

Légende commune aux figures 16 et 17 : Différence significative des différences relatives d'ECPC entre systèmes (différences relatives d'ECPC d'un système donnée = variables expliquées, Figure 12)

a, b, c : pour un même indicateur d'efficacité, les systèmes partageant une même lettre ne sont significativement différents (analyse de variance au risque d'erreur 5%, détails en Annexe XVI).

L'axe 1, corrélé à l'ECPC, pourrait expliquer en partie les variations d'ECPC au sein de certains systèmes (Naisseur-engraisseurs de JB et bœufs des Pays de Loire, Engraisseur de JB, ...). Ce constat serait moins valable avec l'axe 2 car la variable ECPC y est moins corrélée.

D. Des systèmes inégalement sensibles à une meilleure valorisation des aliments végétaux et produits animaux en alimentation humaine

La figure 16 présente l'évolution de l'ECPC de chaque système si les aliments végétaux pour bovins viande sont mieux valorisables en alimentation humaine. La figure 17 présente l'évolution de l'ECPC de chaque système si les produits animaux des bovins viande (viande, abats, os, graisses) sont mieux valorisables en alimentation humaine.

Avec une meilleure valorisation des végétaux en alimentation humaine, tous les systèmes sont touchés par une diminution d'efficacité protéique nette. Les systèmes les plus efficaces connaissent en moyenne les plus fortes réductions (passage de 3,63 à 2,44 pour le système Naisseur légers des Pays de Loire). Certains systèmes, auparavant contributeurs nets de protéines, deviennent consommateurs de protéines (Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est).

Le système Naisseur légers du Massif Central connaît une chute significativement moins importante que les systèmes Engraisseur de JB et Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire ($P = 0,031$ et $0,037$ respectivement, $\alpha = 5\%$). L'ECPC du système Naisseur légers du Massif Central ne diminue que de 30 % alors que celles des systèmes Engraisseur de JB et Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire chutent de 46 % et 41 % respectivement (Figure 16, Annexe XVI). De même, le système Naisseur lourds du Massif Central connaît une diminution significativement moins importante d'ECPC que le système Engraisseur de JB (- 33% vs - 46%, Figure 16) (Annexe XVI).

Avec une meilleure valorisation des produits animaux en alimentation humaine, les systèmes connaissent tous une augmentation d'efficacité protéique nette (Figure 17). Les systèmes auparavant les plus efficaces connaissent la hausse d'ECPC la plus forte en valeur absolue. Cette augmentation d'ECPC reste très faible et ne change pas la nature contributrice ou consommatrice de systèmes.

Le système Engraisseur de JB et tous les systèmes naisseurs-engraisseurs connaissent des hausses d'ECPC significativement plus élevées que celles des systèmes naisseurs ($P < 0,001$, $\alpha = 5\%$, Annexe XVI).

IV. Discussion

A. Interprétation des résultats d'efficacité et comparaison avec d'autres systèmes

1. Les aliments consommés et les animaux produits expliquent les variations d'efficacités inter-systèmes

- **Des efficacités totales faibles expliquées par une productivité limitée**

Les valeurs moyennes d'efficacités totales sont très faibles dans la plupart des systèmes étudiés. Contrairement à d'autres productions (porc, poulet), la productivité l'élevage des bovins viande est limitée (durée d'élevage longue, système extensifs surtout herbagers) ce qui réduit le poids vif total produit/an et donc la production annuelle de protéines et d'énergie totales (Wilkinson, 2011).

Le système Engraisseur de JB possède les efficacités totales les plus élevées significativement car c'est le système générant le plus de protéines et d'énergie totale (poids vif total produit = 1341 kg vifs/UGB/an, valeurs très élevées au numérateur des formules d'efficacités totales) (Tableau 10).

En parallèle, les consommations de protéines et d'énergie totales ne sont guère plus élevées que celles des autres systèmes (715 kg de protéines consommées/UGB/an par le système Engraisseur de JB, 911 kg de protéines/UGB/an par le système Naisseur légers des Pays de Loire) (base Diapason).

Le système Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est possède l'ECPT la plus proche de celle du système Engraisseur de JB. Ce système produit beaucoup d'animaux, tout comme les 2 autres systèmes naisseurs-engraisseurs mais il consomme moins de concentrés (céréales) (4,43 kg de concentrés/kg viande contre 5,81 kg/kg de viande, Annexe XI).

- **Des systèmes naisseurs efficaces car économes en concentrés, contrairement aux systèmes naisseurs-engraisseurs**

Parmi les systèmes naisseurs, tous contributeurs nets de protéines, le système Naisseur légers des Pays de Loire est le plus efficace et le moins en compétition avec l'alimentation humaine (PPC ration = 1,40 %, PEC ration = 3,60 %). Ces faibles parts de nutriments consommables par l'Homme s'expliquent par une consommation majeure d'herbe (93 % des apports de protéines, 89 % des apports d'énergie, Tableaux 11 et 12). Les concentrés consommés n'apportent que 5 % des protéines (et 3 % de l'énergie) et sont actuellement peu consommables par l'Homme (tourteau de colza). En parallèle, ce système produit des animaux finis (46,7 % du poids vif total produit issu d'animaux abattus, surtout des vaches de réforme finies, Tableau 10). Deux exploitations de ce système se distinguent. La première présente des efficacités nettes qui tendent vers l'infini car aucun aliment consommable par l'Homme n'y est consommé (herbe pâturée et foin). La deuxième exploitation possède une valeur ECPC très élevée (11,2). A part de l'herbe, elle ne consomme en effet que de l'orge (2.8 t MS/an en moyenne) (base Diapason).

Le système Naisseur du Grand Est paraît se détacher aussi des autres systèmes (ECPC > ECPC Naisseur-engraisseur de JB du Massif Central). Tout comme le système naisseur des Pays de Loire, il produit des animaux finis (génisses) et la majorité des concentrés consommés sont des tourteaux et coproduits céréaliers peu consommables par l'Homme (base Diapason). Contrairement aux a priori, les systèmes Naisseur légers et Naisseur lourds du Massif Central, très herbagers, sont à peine contributeurs de protéines, malgré d'assez faibles PPC ration. Leurs efficacités nettes sembleraient limitées par une faible part d'animaux abattus dans le poids vif total produit (36,0% dans le système naisseur légers car vente de brouillards légers surtout) ou par une consommation un peu plus importante de concentrés (583 kg/UGB/an de concentrés consommés dans le système naisseur lourds) (Tableau 10).

Ces résultats d'efficacité nette dans les systèmes naisseurs doivent cependant être nuancés. En effet, ces systèmes vendent des animaux (brouillards, reproducteurs) qui ne sont pas directement consommés par l'Homme (< 50 % du poids vif produit est issu d'animaux abattus, Tableau 10). La phase d'engraissement, gourmande en ensilage de maïs et céréales, se déroule dans d'autres systèmes (engraisseurs, certains naisseurs-engraisseurs) qui produisent principalement des animaux abattus directement pour l'alimentation humaine.

Les systèmes naisseurs-engraisseurs du Massif Central et des Pays de Loire sont des consommateurs nets de protéines et d'énergie du fait de leurs fortes consommations de concentrés (céréales, tourteaux, via les aliments du commerce) et d'ensilage de maïs (Tableau 10, Annexe XI). Pourtant leurs efficacités nettes ne sont pas significativement plus faibles que celles des autres systèmes et leurs PPC ration restent relativement modestes (PPC ration = 5,88 %, Tableau 11). En effet, la majeure partie des protéines et énergie consommées reste issue d'aliments peu ou non consommables par l'Homme (herbe surtout, tourteaux de colza et tournesol). Une part non négligeable de nutriments est aussi apportée par l'ensilage de maïs. Ce dernier permet de réduire la consommation de céréales, fortement consommables par l'Homme (PEC maïs ensilage = 32 %, PEC blé tendre = 67 %, Annexe III).

Tableau 13 : Efficiences protéiques nettes de systèmes bovins viande présents dans la bibliographie (d'après Wilkinson, 2011 ; Wiedermann et al., 2015 ; Ertl et al., 2016). Compilation des données de 3 publications. PPC calculées pour chaque aliment, selon leur niveau de valorisation actuel en alimentation. Valeurs PPC différentes selon publications. Valeur ECPC calculée avec des PPC actuelles. Bovins viande : producteurs de vaches de réforme et de jeunes animaux (JB, génisses, veaux).

Publications	Scénario PPC	Pays	Système	Type d'animal produit	ECPC
Wilkinson, 2011	PPC Wilkinson	Royaume-Uni	Bovins viande de plaine (foin, ensilage de maïs)	Bovins viande de race allaitante	0,5
			Bovins viande d'altitude (herbe, concentrés)	Bovins viande de race allaitante	1,09
			Engraisseur Bovins laitiers à viande abattus à 18-20 mois	Bovins viande de race laitière abattus à 19 mois, 515 kg vifs	0,63
			Engraisseur JB avec céréales	Jeunes bovins de race laitière	0,33
Ertl et al., 2016	PPC Ertl	Autriche	Engraisseur JB	Jeunes bovins	0,45
			Bovins viande	Bovins viande de race allaitante	1,52
Wiedermann et al., 2015	PPC Wiedermann	Australie	Bovins viande finis à l'herbe	Bovins viande, finis à l'herbe	7,90
			Bovins viande finis aux céréales	Bovins viande, finition 330 j	0,30
			Bovins viande finis aux céréales	Bovins viande, finition 115 j	0,50

Le système Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est diffère de ces 2 systèmes car il est contributeur net de protéines. Cette différence s'explique certainement par la substitution d'une partie des tourteaux et céréales par des coproduits céréaliers et pulpe de betterave sucrée, non consommables par l'Homme (PPC ration = 4,64 %, Tableau 11).

Les systèmes naisseurs et naisseurs-engraisseurs étudiés ont des ECPC comparables à celles d'autres systèmes bovins viande européens. Les systèmes naisseurs du Massif Central et Naisseur-Engraisseur de JB du Grand Est ont des ECPC proches de celle du système Naisseur-engraisseur allaitant d'altitude du Royaume-Uni, herbager mais consommateur de concentrés (Tableau 13). Les valeurs d'ECPC de certains naisseurs de broutards légers sont semblables à celles de systèmes extensifs australiens à l'herbe. Les systèmes naisseurs-engraisseurs des Pays de Loire et du Massif Central sont quant à eux aussi efficaces que le système naisseur-engraisseur allaitant de plaine du Royaume-Uni, consommateur d'ensilage de maïs (Tableau 13).

Malgré une ration davantage en compétition avec l'alimentation humaine (PPC ration = 15 %), le système Engraisseur de JB possède une ECPC assez proche de 1 (ECPC = 0,90). Une part importante des protéines de la ration est issue d'aliments peu consommables par l'Homme (coproduits céréaliers autres que le son, pulpe de betterave sucrée et certains tourteaux soit près de 34 % des protéines de la ration, Tableau 11). De plus, ce système génère beaucoup de jeunes bovins. Ces derniers sont les bovins viande qui possèdent le meilleur rendement en carcasse et la teneur en protéines dans la viande la plus importante (Annexe IX).

Le système Engraisseur de JB étudié présente une valeur moyenne d'ECPC deux à trois fois supérieures à celles des systèmes engraisseurs d'Ertl et *al.* (2016) et Wilkinson (2011) (Tableau 13). Cette différence pourrait s'expliquer par une production de jeunes bovins plus lourds (540 kg vifs/tête seulement dans Wilkinson, 2011) et par une consommation d'aliments moins consommables par l'Homme (plus de pulpe sucrée, d'après Ertl et *al.*, 2015b).

Cette opposition entre systèmes contributeurs et consommateurs nets de protéines doit être absolument nuancée. Les écarts-types importants autour des moyennes d'ECPC impliquent que certaines exploitations de systèmes consommateurs nets de protéines ont des ECPC supérieures à 1 (et inversement pour les systèmes contributeurs nets).

- **Comparaison des ECPC des systèmes bovins viande à celles d'autres productions**

Actuellement, la contribution nette en protéines des systèmes bovins viande semble plutôt dépendre des rations. A l'opposé, les valeurs élevées d'ECPC des systèmes laitiers et monogastriques (porc, volailles) reposent sur la production massive de protéines consommables par l'Homme. Contrairement aux systèmes bovins viande étudiés, les systèmes bovins laitiers et systèmes porcins présentent des ECPC supérieures à 1, tout en ayant des rations en forte compétition avec l'alimentation humaine (PPC ration = 26 %, dans système laitier ensilage de maïs-tourteau de soja, PPC ration porc = 32 % ; Laisse et *al.*, non publié). Dans les systèmes laitiers, cette contribution nette en protéines est due à la production de grandes quantités de protéines consommables par l'Homme via le lait et la viande des vaches de réforme (Lagel, 2016). Dans les systèmes porcins, cette contribution protéique nette s'explique par la production de viande de porc (et donc de protéines) très intensive (durée d'élevage de 6 mois). Les porcs sont aussi mieux valorisés actuellement en alimentation humaine (53 % du poids vif d'un porc valorisé, 44 % du poids vif pour une vache allaitante, Laisse et *al.*, non publié). Cette même tendance s'observe avec les systèmes producteurs de volailles (ECPC poulet de chair = 1.28, PPC ration = 30 % ; Laisse et *al.*, 2017).

2. Des variations d'efficacités protéiques nettes intra-systèmes expliquées par le niveau d'intensification de la conduite d'élevage.

Globalement, les efficacités totales sont corrélées positivement au niveau d'intensification de la production (axe 1, conduites intensives avec concentrés) alors que les efficacités nettes

y sont corrélées négativement (conduites extensives, herbagères). Le niveau de spécialisation (axe 2) est assez peu lié aux efficacités nettes. L'ACP ne permet pourtant pas d'expliquer les variations d'ECPC entre systèmes (pas de systèmes distincts le long de l'axe 1) car les variations d'ECPC intra-systèmes sont très élevées. Ces dernières paraissent en partie expliquées par le niveau d'intensification dans certains systèmes.

Dans le système Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire, les exploitations E13 et E19 paraissent s'opposer aux exploitations E1 et E8 (Figure 15). Les exploitations E1 et E8 sont en effet très herbagères, consomment peu de concentrés (un peu d'orge et d'aliments du commerce) et produisent peu d'animaux (190 kg vifs produits/UGB/an avec 10 bœufs/an, 12 vaches finies/an). Au contraire, les exploitations E13 et E19 ont des rations basées sur l'ensilage de maïs et les concentrés (aliments du commerce, céréales) et produisent beaucoup d'animaux conduits intensivement (870 kg vifs produits/an, 200 JB/an, 24 vaches finies/an) (base Diapason, Tableau 10). Cette opposition se reflète très bien dans leur valeur d'ECPC. Les exploitations E13 et E19 sont les moins efficaces du système (ECPC = 0,63 et 0,37 respectivement) avec des PPC ration supérieures à celle du système. A l'inverse, les exploitations E1 et E8 ont les ECPC les plus élevées du système (ECPC = 1,07 et 2,32 respectivement), avec des rations très peu consommables par l'Homme (PPC ration = 1.1 % et 1.6 % respectivement). La même situation s'observe dans le système Engraisseur de JB. L'élevage H1, consommateur net de protéines (forte consommation de céréales, JB vendus jeunes) s'oppose aux élevages H7 et H11, contributeurs nets de protéines (pulpe surpressée et foin, JB vendus plus âgés).

Le niveau de spécialisation des élevages bovins paraît moins expliquer les variations d'ECPC intra-systèmes. Cependant, dans le système Naisseur du Grand Est, des exploitations en grandes cultures (F5, F4, F8) présentent les ECPC les plus élevées du système (de 1.7 à 3.7), avec les PPC ration les plus faibles (de 0.6 à 1.2 %). Au contraire, des naisseurs spécialisés (F18) ont des ECPC faibles et des PPC ration les plus fortes du système (7.5 %). En grandes cultures, les naisseurs légers sont très herbagères (prairies permanentes) sans ensilage de maïs alors que les naisseurs spécialisés consomment de l'ensilage de maïs et des aliments du commerce, riches en céréales (base Diapason).

3. Une meilleure valorisation en alimentation humaine des aliments végétaux aurait davantage d'effet sur les efficacités protéiques nettes des systèmes

Une meilleure valorisation des aliments végétaux en alimentation humaine entraîne mécaniquement une réduction d'ECPC dans tous les systèmes car tous consomment des aliments mieux valorisables à l'avenir (hausse des PPC ration). Tous les systèmes n'y sont pas aussi sensibles. Le système Naisseur légers du Massif Central, herbage, a une ECPC plus résistante que celles des systèmes Engraisseur de JB et Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire. Ses consommations de tourteaux et d'ensilage de maïs sont faibles (1 % et 2 % des protéines consommées respectivement). Au contraire, les systèmes Engraisseur et naisseur-engraisseur des Pays de Loire en sont des consommateurs importants (26 % et 16 % des protéines consommées respectivement dans le système Engraisseur). Or ces aliments sont les plus susceptibles d'être mieux valorisés en agroalimentaire à l'avenir. Les protéines de beaucoup de tourteaux deviendraient consommables pour l'Homme (tourteaux de colza, de tournesol, de lin) et la PPC de l'ensilage de maïs devrait doubler (20 % de protéines consommables, farine de maïs).

Singulièrement, les 2 autres systèmes naisseurs de bœufs légers ne paraissent pas mieux résister que les systèmes naisseur-engraisseur et engraisseur alors qu'ils consomment aussi très peu de tourteaux. Ces 2 systèmes pourraient voir leur ECPC réduite en cas de meilleure valorisation agroalimentaire des protéines de l'ensilage de maïs et du triticale.

Une meilleure valorisation des os et graisses de bovins viande en alimentation humaine n'entraîne par contre qu'une très légère hausse des valeurs ECPC pour tous les systèmes.

Les systèmes Engraisseur de JB et naisseurs-engraisseurs en profiteraient le plus (hausse significativement plus importante que pour les systèmes naisseurs). Ils produisent en effet les poids vifs totaux les plus importants (bovins lourds de type JB et vaches de réforme). Proportionnellement, ces systèmes génèrent les plus grands volumes de graisses et d'os et donc les plus grandes quantités de protéines et d'énergie consommables par l'Homme à l'avenir.

B. Regards critiques sur la méthodologie suivie et les résultats obtenus

• Estimations sur les fourrages à base d'herbe et les aliments du commerce

- Les valeurs MAT et EB des fourrages à base d'herbe sont certainement différentes de celles observées réellement dans les élevages. Aucune indication n'était fournie sur les origines de ces fourrages (prairies permanentes ou temporaires) ou sur la composition des prairies temporaires (Luzerne, Ray-Grass Italien, multi-espèces). Ces informations pourraient être fournies à l'avenir dans la base Diapason.
- Les formules élaborées avec les tables ECOALIM utilisent les mêmes matières premières quelle que soit la production animale. Certaines de ces matières premières sont plutôt dédiées à d'autres espèces (sons de blé et remoulages, davantage utilisés pour les porcs) (Agreste, 2014). Une étude nationale sur les matières premières des aliments du commerce pour bovins viande permettrait de corriger ces formulations.

• Estimations sur les bovins viande étudiés et leurs produits

- Des simplifications ont été réalisées afin de faire correspondre tous les animaux présents dans Diapason aux types d'animaux des tables de Proportions Consommables des Produits animaux (Annexe III). Les teneurs en protéines et énergie n'ont pas été estimées pour tous les types de bovins viande présents dans Diapason. De plus, ces teneurs ne prennent pas en compte le niveau d'engraissement ou « d'alourdissement » des bovins viande (brouards, vaches de réforme, ...). De nouveaux travaux de recherche sur leur composition corporelle aideraient à compléter ces teneurs en protéines et énergie pour les différents types de bovins viande français.
- Les proportions de graisses et os valorisés actuellement en alimentation humaine étaient difficiles à estimer faute de données (estimations arbitraires). Des études approfondies de la SIFCO pourraient être envisagées sur la valorisation des coproduits C3 bovins.

• Hypothèses sur les démarches de classification et de calcul des efficacités

- Les systèmes bovins viande auraient pu être construits sur d'autres critères que le bassin d'élevage, tels que la part des surfaces en maïs fourrager dans la SFP. Ce dernier critère aurait été en relation plus directe avec l'efficacité alimentaire (maïs fourrager en partie consommable par l'Homme, consommation de tourteaux accrue, ...).
- Dans ce travail, les animaux vendus maigres (brouards, reproducteurs, ...) ont été considérés dans les calculs d'efficacité comme des animaux abattus. Cette méthode favorise les systèmes naisseurs qui produisent peu d'animaux abattus pour l'alimentation humaine. Il serait intéressant de modéliser l'efficacité alimentaire nette du couple de systèmes « naisseur + engraisseur » et de la comparer à celle d'un système naisseur-engraisseur « classique ».

• Construction des outils utilisés : indicateurs d'efficacité et ACP

- La formule de calcul des efficacités alimentaires nettes tendent vers l'infini lorsqu'il n'y a aucun aliment consommable par l'Homme au dénominateur. Un autre indicateur d'efficacité nette (ECPC et ECEC inverses par exemple) pourrait être imaginé.
- Dans l'ACP, seule 42,4 % de la variabilité est expliquée avec 2 plans. Cette faible représentativité s'accompagne d'une faible qualité de représentation des variables actives sur les axes car certaines variables actives sont fortement corrélées. Cette ACP pourrait être reconstruite en utilisant des variables actives synthétiques. Elle pourrait aussi être complétée par une Classification Ascendante Hiérarchique (Lagel, 2016). Elle aurait mieux discriminé les systèmes selon leur niveau d'intensification.

Conclusion et perspectives de travail

Ce travail représente l'une des premières approches de la contribution nette des bovins viande français à l'alimentation humaine. Il devait aussi permettre de déterminer des facteurs qui conditionnent les efficacités alimentaires et qui expliquent le mieux les différences d'efficacités protéiques nettes entre exploitations d'un même système.

Comme supposé en introduction, les systèmes contributeurs nets de protéines sont des systèmes naisseurs très herbagers avec une faible consommation de concentrés (Naisseur légers des Pays de Loire et Naisseur du Grand Est). Ces résultats d'efficacité doivent être considérés avec précaution car les systèmes naisseurs produisent assez peu de viande directement consommable par l'Homme. A l'opposé les systèmes naisseurs-engraisseurs, davantage consommateurs de concentrés (céréales, tourteaux) et d'ensilage de maïs, sont des consommateurs nets de protéines (Naisseur-engraisseur des Pays de Loire et du Massif Central). Cependant, le système Engraisseur de jeunes bovins et Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est, pourtant très gourmands en concentrés, présentent des ECPC proches ou supérieures à 1. Ces systèmes compensent en partie leur consommation de concentrés et d'ensilage de maïs par des coproduits non consommables par l'Homme (pulpe surpressée, drèches) et par des productions importantes d'animaux lourds directement abattus pour l'alimentation humaine.

Aucun système n'est contributeur net d'énergie pour l'alimentation humaine. Le système Naisseur légers des pays de Loire semble un peu moins consommateur net d'énergie, grâce à une ration en très faible compétition énergétique avec l'alimentation humaine.

Comme avancé en introduction, lorsque les aliments végétaux deviennent davantage valorisables en alimentation humaine, les ECPC des systèmes étudiés se réduisent et certains deviennent consommateurs nets de protéines. Les systèmes naisseurs du Massif Central très herbagers apparaissent mieux résister que les systèmes plus gourmands en concentrés (engraisseurs et naisseurs-engraisseurs). A l'inverse, ces derniers profitent le plus d'une meilleure utilisation des os et graisses de bovins en agroalimentaire.

Le niveau d'intensification, basé sur l'engraissement par des concentrés, conditionne les efficacités alimentaires. Les efficacités totales élevées dépendent de conduites intensives, avec concentrés, alors que les efficacités nettes élevées sont associées à des conduites peu intensives basées sur l'herbe. Ce niveau d'intensification explique aussi les variations d'efficacité protéique nette de certains systèmes comme le système Naisseur-engraisseur de jeunes bovins et bœufs des Pays de Loire. Moins liée aux efficacités alimentaires nettes, la diversification d'activité des exploitations semble expliquer en partie les variations d'ECPC dans les systèmes du Grand Est et dans le système Engraisseur de jeunes bovins.

Ce travail se limite à une étude quantitative des protéines et de l'énergie apportées par les systèmes bovins viande français à l'alimentation humaine. Or les protéines animales présentent des qualités nutritionnelles très intéressantes pour l'Homme (Rémond et Duchène, 2007). Ce travail pourrait être complété par une évaluation qualitative des protéines apportées par les systèmes bovins viande, en utilisant le nouveau système DIAAS (Rémond, 2014).

Un système modélisé « naisseur + engraisseur » s'avère indispensable pour mieux comparer les efficacités alimentaires avec les systèmes naisseurs-engraisseurs. Cette comparaison permettrait de déterminer si l'engraissement des bœuf(s) sur l'exploitation rentre ou non davantage en compétition avec l'alimentation humaine.

L'élevage de bovins viande est souvent décrié du fait de ses émissions de GES (Gill et al., 2009 ; Doreau et al., 2017) et des surfaces agricoles dédiées à son alimentation. Les services environnementaux de cette production sont souvent minimisés dans les travaux de cycles de vie des bovins allaitants. Ces derniers sont les principaux agents de la préservation et de la valorisation des prairies permanentes (Gac et al., 2010 ; Hoffmann et al., 2014). Or les prairies permanentes contribuent massivement au stockage du carbone et sont une source cruciale de biodiversité (Gill, 2013 ; Doreau et al., 2017). Cet aspect pourrait être mis en valeur dans les futurs travaux sur les efficacités environnementales des bovins viande et sur la compétition de surfaces agricoles entre alimentations humaine et bovins viande.

Références bibliographiques

ADEME – Réséda. 2008. Enquête sur les gisements et la valorisation des coproduits issus de l'agro-industrie : Rapport année 2008 [en ligne]. ADEME Editions. 164 p. Disponible sur : http://www.agroalimentaire.fr.com/sites/aria.choosit.eu/files/fichiers/documents%20de%20rubrique/rapport_final_sur_les_gisements_de_coproduits_2008.pdf. (Consulté le 16 février 2017).

Agabriel J., Veysset P. 2016. Manques à produire et pertes alimentaires dans la filière viande bovine [en ligne]. *Viande & Produits Carnés*. Vol. 32. 17p. Disponible sur : http://www.viandesetproduitscarnes.fr/phocadownload/vpc_vol_32/3226_agabriel_pertes_filiere_bovine.pdf. (Consulté le 23 février 2017).

Agreste Conjoncture. 2013. L'alimentation animale, principale destination des productions végétales [en ligne]. Agreste Editions. N°2013/208. 9p. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjsynt208201304mpro.pdf>. (Consulté le 16 février 2017).

Agreste Primeur. 2014. Les matières premières dans les aliments composés pour animaux de ferme en 2012 : Retour des tourteaux de tournesol, repli continu des tourteaux de soja [en ligne]. Agreste Editions. N°217. 8p. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur317.pdf>. (Consulté le 16 février 2017).

Baumont R., Dulphy J. P., Sauvant D., Meschy F., Aufrère J., Peyraud J.L. 2007. Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières : tables et prévision. Dans : *Alimentation des ruminants. Besoins des animaux et valeur des aliments - Tables Inra*. Versailles : Editions Quae. p149-179.

Brouard S., Agabriel J., Bastien D., Benoit M., D'Hour P., Farrié J.-B., Leclerc M.-C., Pottier E. 2015. Guide de l'alimentation du troupeau allaitant : vaches, veaux et génisses de renouvellement. Paris : Institut de l'Élevage. 340p.

Brunschwig P. 2003. Éléments pour définir un aliment sécheresse Midi-Pyrénées. Institut de l'Élevage. 4p.

Cassidy E.S., West P.C. Gerber J.S., Foley J.A. 2013. Redefining agricultural yields : From tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*. Vol 8. N°3. p1-8.

Cartier P., Moevi I. 2007. Le point sur... La qualité des carcasses et des viandes de gros bovins [en ligne]. Institut de l'Élevage. Compte rendu final n°17 05 32 022. Vol. 17. N°5. 72p. Disponible sur : http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/qualite_carcasse_viande_bovin_2008%20%20p.pdf. (Consulté le 28 février 2017).

Devun J., Brunschwig P., Guinot C. 2012. Alimentation des bovins: rations moyennes et autonomie alimentaire [en ligne]. Institut de l'Élevage, CIV. 46p. Disponible sur : www.idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/b78e5cd9.pdf. (Consulté le 16 février 2017).

Doreau M., Farrugia A., Veysset P. 2017. Aménités et impacts sur l'environnement des exploitations françaises élevant des bovins pour la viande. Dans : *Élevage bovin allaitant*. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). *Dossier INRA Productions Animales*. Vol 30. N°2. p165-178.

Ertl P., Klocker H., Hörtenhuber S., Knaus W. et Zollitsch W. 2015a. The net contribution of dairy production to human food supply: the case of Austrian dairy farms. *Agricultural Systems*. Vol. 137. p119-125.

Ertl P., Zebeli Q., Zollitsch W. and Knaus W. 2015b. Feeding of by-products completely replaced cereals and pulses in dairy cows and enhanced edible feed conversion ratio. *Journal of Dairy Science*. Vol. 98. N° 2, p1225-1233.

Ertl P., Steinwider A., Schönauer M., Krimberger K., Knaus W., Zollitsch W. 2016. Net food production of different livestock : A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories. *Die Bodenkultur : Journal of Land Management, Food and Environment*. Vol. 27. N°2. p91-103.

Fischer M., Kofod L.V., Schols H.A., Piersma S.R., Gruppen H., Voragen A.G. 2001. Enzymatic extractability of soybean meal proteins and carbohydrates : heat and humidity effects. *Journal of agricultural and food chemistry* [en ligne]. Vol. 49. N°9. 9p. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11559155>. (Consulté le 4 juillet 2017).

Fisher A., Jurquet J., Minery S. et Ballot N. 2015. Mieux comprendre l'efficience alimentaire des vaches laitières [en ligne]. Institut de l'Élevage. 6p. Disponible sur : http://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/86e1b5e6-b378-4653-bfac-a791e30ca82b. (Consulté le 06 août 2017).

Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M. 2011. Solutions for a cultivated planet [en ligne]. *Nature*. Vol. 478. p337-342. Disponible sur <http://dx.doi.org/10.1038/Nature10452>. (Consulté le 06 août 2017).

FranceAgriMer-Réséda, Blézat Consulting. 2013. Etude sur la valorisation du 5ème quartier des filières bovine, ovine et porcine en France [en ligne]. Collection Les études de FranceAgriMer. 209p. Disponible sur : <http://www.franceagrimer.fr/content/download/24724/205306/file/ETU-VIA-2013-%20Valorisation%20du%205%C3%A8%20quartier%20%28version%20longue%29%20-%20BI%20A9zat.pdf>. (Consulté le 22 février 2017).

Gac A., Dollé J.-B., Le Gall A. 2010. Le stockage du carbone par les prairies : une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage d'herbivores sur l'effet de serre [en ligne]. Institut de l'Élevage. 12 p. Disponible sur : www.idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/e8e6568c.pdf. (Consulté le 06 août 2017).

Galloway J.N., Burke M., Bradford E., Naylor R., Falcon W., Chapagain A.K., Gaskell J.C., McCullough E., Mooney H.A., Oleson K.L.L., Steinfeld H., Wassenaar T., Smill V. 2007. International trade in meat : the tip of pork chop [en ligne]. *AMBIO*. Vol. 36. N°8. p622-629. Disponible sur : https://www.jstor.org/stable/25547827?seq=1#page_scan_tab_contents. (Consulté le 11 mars 2017).

Gill M., Smith P., Wilkinson J.M. 2009. Mitigating climate change : the role of domestic livestock [en ligne]. *Animal*. Vol. 4. N°3. p323-333. Disponible sur : <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S1751731109004662>. (Consulté le 11 mars 2017).

Gill M. 2013. Converting feed into human food : the multiple dimensions of efficiency [en ligne]. Dans : Optimization of feed use efficiency in ruminant production systems. Harinder P.S., Makkar, Beever D. (Eds). FAO Symposium, Bangkok, Thaïlande. Vol. 16. P1-13. Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/018/i3331e/i3331e.pdf>. (Consulté le 11 mars 2017).

Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S. and Toulmin C. 2010. Food security : the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. Vol. 327. p812-818.

Hoffmann I., From T. et Boerma D. 2014. Ecosystem services provided by livestock species and breeds, with special consideration to the contributions of small-scale livestock keepers and pastoralists [en ligne]. Commission on genetic resources for food and agriculture. FAO. 158p.

Disponible sur : <http://www.fao.org/3/a-at598e.pdf>. (Consulté le 06 août 2017).

Huyghe C., Delaby L. 2013. Prairies et systèmes fourragers. 2^{ème} édition. Paris : Editions France Agricole. 530p.

Institut de l'Élevage – ADEME. 2000. Les coproduits d'origine végétale des industries agroalimentaires : leur valorisation en alimentation animale et leur place dans les circuits courts industries-éleveurs [en ligne]. ADEME Editions. 78p. Disponible sur : <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/coproduits-origine-vegetale-industrie-agro-2895.pdf>. (Consulté le 3 mars 2017).

Institut de l'Élevage – Confédération Nationale de l'Élevage. 2016. Chiffres clés : Productions bovines lait et viande [en ligne]. Institut de l'Élevage. 12p. Disponible sur : <http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/reseaux-mixtes-technologiques/publication/idelesolr/recommends/chiffres-cles-bovins-lait-et-viande-2016.html>. (Consulté le 06 mars 2017).

Interprofession Régionale du Veau d'Aveyron (IRVA). 1993. Dossier de demande d'Indication Géographique protégée (IGP) Procédure simplifiée : Veau d'Aveyron et du Ségala [en ligne]. Disponible sur : http://ec.europa.eu/agriculture/quality/door/documentDisplay.html?chkDocument=3557_1_fr. (Consulté le 5 mai 2017).

Lagel A.-L. 2016. Contribution de l'élevage bovin laitier à l'approvisionnement protéique pour l'être humain : Efficacité de conversion des protéines végétales consommables par l'être humain : Efficacité de conversion des protéines végétales consommables par l'être humain en protéines animales. Mémoire d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques de l'Alimentation et de l'Environnement, spécialité Agronomie ingénierie de l'élevage. Dijon : VetAgroSup Dijon. 44p.

Laisse S., Rouille B., Baumont R., Peyraud J.-L. 2016. Evaluation de la contribution nette des systèmes bovins laitiers français à l'approvisionnement alimentaire protéique pour l'être humain [en ligne]. 23^{ème} Rencontres de Recherche sur les Ruminants. Paris. 2016. 4p. Disponible sur : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_8_Systemes_S-Laisse.pdf. (Consulté le 14 mars 2017).

Laisse S., Dusart L., Bouvarel I., Baumont R. 2017. Evaluation de la contribution nette des systèmes d'élevage de poulets de chair et poules pondeuses françaises à la production alimentaire protéique pour l'être humain. 12^{ème} Journées de Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras. Tours. 2017. 5p.

Landais E. 1992. Principes de modélisation des systèmes d'élevage [en ligne]. Approches graphiques. *Cahiers de Recherche Développement*. Vol. 32. N°2. p82-95. Disponible sur : <http://prodinra.inra.fr/record/107808>. (Consulté le 3 juillet 2017).

Leborgne M.-C., Bréchet C., Delteil L., Fournier F. 2013. L'alimentation des vaches allaitantes. Dans : Nutrition et alimentation des animaux d'élevage : l'alimentation des monogastriques, l'alimentation des polygastriques. Tome 2. 3^{ème} édition. Dijon : Educagri. 356p.

Nidjdam D., Rood T., Westhoek H. 2012. The price of protein : Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*. Vol. 37. p760-770.

Oltjen J.W. et Beckett J.L. 1996. Role of Ruminant Livestock in Sustainable Agricultural Systems [en ligne]. *Journal of Animal Science*. Vol 74. N°6. p1406-1409. Disponible sur : <https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/pdfs/74/6/1406>. (Consulté le 11 mars 2017).

Perrot C., Barbin G., Bossis N., Champon F., Morhain B., Morin E. 2013. L'Elevage d'herbivores au recensement agricole 2010 : Cheptels, Exploitations, Productions. Dossier Economie de l'Elevage. Institut de l'Elevage. N°440-441. 96p.

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'efficacité des productions animales [en ligne]. *INRA Productions Animales*. Vol. 27. N°3. p235-248
Disponible sur : <https://www6.inra.fr/productions-animales/2014-volume-27/Numero-3-PP-177-248/Le-phenotypage-de-l-efficacite-alimentaire-et-de-ses-composantes>. (Consulté le 29 juin 2017).

Rémond D. et Duchène C. 2007. Qualité nutritionnelle des protéines de la viande. Les 3 points forts : composition, digestibilité et vitesse de digestion [en ligne]. *CIV*. 4p.
Disponible sur : <http://www.civ-viande.org/wp-content/uploads/2014/05/Fiche-Nutrition-BD.pdf>. (Consulté le 27 février 2017).

Rémond D. Protéines animales-protéines végétales : quel équilibre pour une alimentation durable ? Journées Francophones de Nutrition. 2014. Paris. 16p.

Sari Y.W., Bruins M.E., Sanders J.P.M. 2013. Enzyme assisted protein extraction from rapessed, soybean, and microalgae meals [en ligne]. *Industrial Crops and Products*. Vol. 43 ; p78-83. Disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669012003834>. (Consulté le 4 juillet 2017).

Schader C., Muller A., El-Hage Scialabba N. 2015. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability [en ligne]. *The Royal Society Publishing*. Disponible sur : <http://rsif.royalsocietypublishing.org>. (Consulté le 9 mars 2017).

SIFCO. 2016. Rapport d'activité SIFCO 2015 [en ligne]. Disponible sur <http://www.sifco.fr/rapport-d-activites/rapport/35/rapport.pdf>. (Consulté le 01/03/17).

Wiedermann S., McGahan E., Murphy C., Yan M.-J., Henry B., Thoma G., Ledgard S. 2015. Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to USA determined using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. p1-9.

Wilkinson J.M. 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock [en ligne]. *Animal*. Vol. 5. N° 7. p1014-1022. Disponible sur : http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FANM%2FANM5_07%2FS175173111100005Xa.pdf&code=683cfd9c3d2d96a8b5d589f01343f27c. (Consulté le 14 mars 2017).

Références sitographiques

Agriconomie. FibroMash Broutard – Mash fibreux « spécial broutards » [en ligne]. Disponible sur <https://www.agriconomie.com/fibromash-broutards-mash-fibreux-special-broutards/p282754>. (Consulté le 14 mai 2017).

Baudot J.-Y. Coefficient de Kendall et test [en ligne]. Disponible sur : http://www.jybaudot.fr/Correl_regress/kendall.html. (Consulté le 19 juillet 2017).

Désialis. Des fibres efficaces pour une bonne rumination : RUMIPLUS Luzerne brins longs ou granulés en balles [en ligne]. Disponible sur : <http://www.paille-fourrage.com/fiches/RUMIPLUS.pdf>. (Consulté le 13 mai 2017).

Pellegrin P. Quel mélange pour quel méteil ? Méteil grain ou méteil ensilage ? [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fidocl.fr/content/quel-melange-pour-quel-meteil-meteil-grain-ou-meteil-ensilage>. (Consulté le 14 mai 2017).

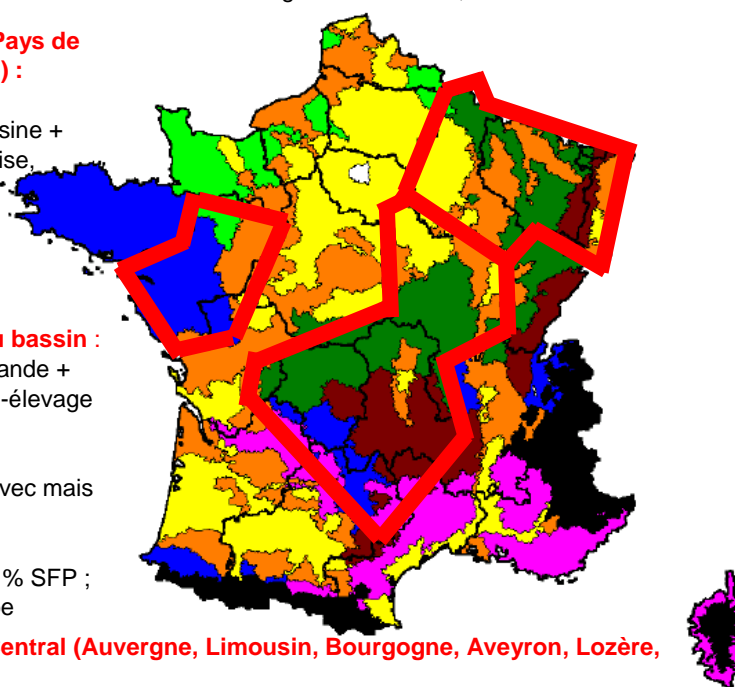
Annexe I : Délimitations et caractéristiques des bassins d'élevage étudiés, projetés sur la carte des grandes régions de cultures fourragère en France (d'après Huyghe et Delaby, 2013 ; Perrot et al., 2013 ; Brouard et al., 2015).

Bassin du Grand Est (Lorraine, Champagne - Ardennes, Alsace) :

- **Races du bassin** : Charolaise majeure + Limousine
- **Animaux produits par les exploitations du bassin** : 30 à 50 % JB, 20 % génisses, 30% vaches de réforme
- **OTEX des exploitations du bassin** : 1/2 en polyculture-élevage, 1/4 en grandes cultures, 1/4 spécialisés
- **Système fourrager des exploitations du bassin** : 30% des exploitations avec maïs fourrager dans leur SFP
- Dans exploitations** : Surfaces maïs fourrager ~ 10 % SFP ; STH > 90% surfaces en herbe

Bassin des Pays de Loire (Pays de Loire + Deux-Sèvres + Orne) :

- **Races** : Charolaise + Limousine + Blonde majeures (+ Parthenaise, Rouge des Prés)
- **Animaux produits par les exploitations du bassin** : 50% JB, 20 % génisses, 30% vaches de réforme
- **OTEX des exploitations du bassin** : 1/2 spécialisés, 1/5 bovins viande + granivores, 1/3 en polyculture-élevage
- **Système fourrager des exploitations du bassin** : 60 à 90 % des exploitations avec maïs fourrager dans leur SFP
- Dans exploitations** : Surfaces maïs fourrager ~ 20 % SFP ; STH < 40 % surfaces en herbe



Bassin du Massif Central (Auvergne, Limousin, Bourgogne, Aveyron, Lozère, Loire, ...) :

- **Races du bassin** : Charolaise, Limousine à l'Ouest du bassin, Salers et Aubrac au Sud du bassin
- **Animaux produits par les exploitations du bassin** : Beaucoup de broutards produits. Peu d'animaux abattus
Animaux abattus : 50 % vaches de réforme, 25 % génisses, 30 % JB ou veaux
- **OTEX des exploitations du bassin** : 3/4 spécialisés, 1/4 en polyculture-élevage (bordures du bassin)
- **Système fourrager des exploitations du bassin** :
En bordure Nord et Ouest (+ Loire) : 30 – 50 % des exploitations avec maïs fourrager dans leur SFP
Dans le reste du bassin : < 30% des exploitations avec maïs fourrager dans leur SFP
- Dans exploitations** : Surfaces maïs fourrager <10 % SFP ; STH > 80 % surfaces en herbe

Code	Zones Institut de l'Elevage
Orange	Zones de grandes cultures
Vert clair	Zone de polyculture-élevage
Bleu	Cultures fourragères (herbe + maïs)
Vert foncé	Zones herbagères du Nord-Ouest
Vert très foncé	Zones herbagères du Centre et de l'Est
Magenta	Zones pastorales
Brun	Montagnes humides
Noir	Haute-Montagne

Bordure du bassin (du Massif Central) : départements de la Loire, du Cher, de l'Indre, l'Est des Charentes, le Sud de la Vienne, le Nord de la Dordogne et du Lot). Les bassins ont été délimités en suivant les frontières de départements et les zones de concentration de bovins viande. Valeurs de la Surfaces Toujours en Herbe et des surfaces de maïs fourrager données pour une exploitation bovins viande moyenne du bassin étudié.

Annexe II : Présentation de la notion de Proportion des Protéines et Energie Consommables par l'Homme des matières premières végétales (PPC et PEC)

(Laisse et *al.*, 2016).

La Proportion de Protéines Consommables par l'Homme d'une matière première végétale (PPC, en %) correspond à la part des protéines initiales de cette matière première, consommable par l'Homme à la suite son passage en industrie de 1^{ère} transformation (de même pour la Proportion d'Energie Consommable par l'Homme, PEC).

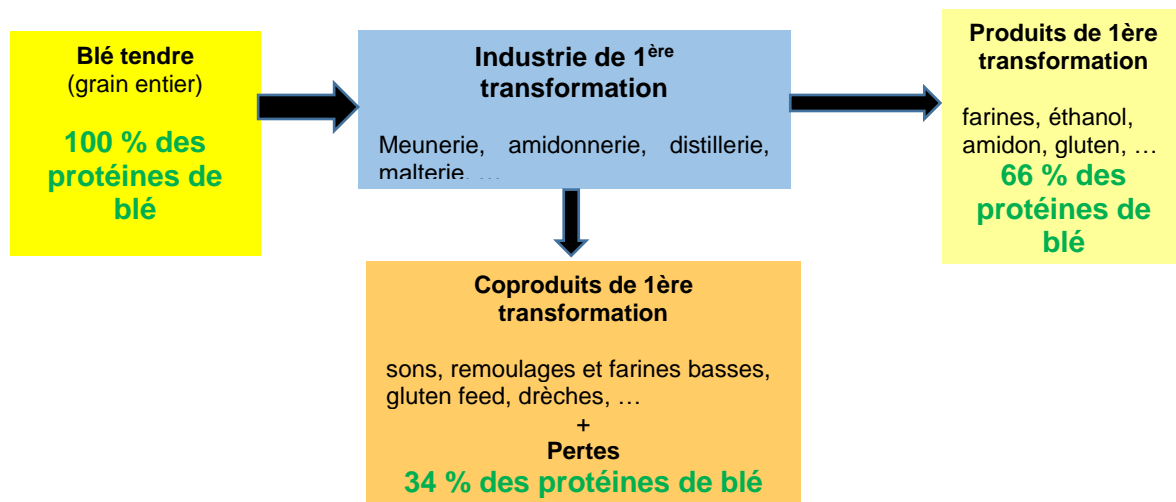


Schéma explicatif de la notion de Proportion de Protéines Consommables par l'Homme (PPC) : exemple avec du blé tendre, sous forme de grain entier (d'après Laisse et *al.*, 2016).

Les produits de 1^{ère} transformation correspondent aux produits consommés par l'Homme directement (farine) ou utilisés en industrie de 2nd transformation. Les protéines de blé tendre retrouvées dans ces produits sont considérées totalement consommables par l'Homme.

Les coproduits et pertes correspondent globalement à des produits non consommables par l'Homme (à part les sons, Laisse et *al.*, 2016). La proportion de protéines de blé tendre de ces produits est considérée comme non consommable par l'Homme (à part les sons, Laisse et *al.*, 2016).

Dans le projet « Efficiences alimentaires des productions animales » (GIS Elevage Demain), les matières premières végétales sont supposées être mieux valorisées en alimentation humaine. Deux scénarios de valorisation de ces matières premières végétales ont été élaborées :

- **Scénario « actuel »** : niveau actuel de valorisation des matières premières végétales en industrie de 1^{ère} transformation, selon les process de transformation et les disponibilités sur le marché en cours.
- **Scénario « potentiel »** : niveau potentiel de valorisation des matières premières végétales en industrie de 1^{ère} transformation dans le cas où les process de transformation et les disponibilités en matières premières s'améliorent sous la pression d'une demande croissante des consommateurs en protéines et énergie végétales.

Les valeurs PPC et PEC de chaque matière première végétale ont été renseignées pour ces 2 scénarios.

Dans ce travail, les PPC et PEC des matières premières végétales ont été utilisées dans les calculs des indicateurs d'efficacité nette, les PPC et PEC des rations des élevages étudiés et des PPC et PEC aliment des aliments composés du commerce formulés.

Annexe III : Valeurs MS, MAT, EB, PPC et PEC des matières premières végétales consommées comme aliments simples ou incorporées dans les aliments composés du commerce formulés (Baumont et al., 2007 ; Laisse et al., 2016).

• Fourrages consommés

Catégorie d'aliments	Matières premières	MS (%)	MAT (g/kg MS)	PPC actuel (%)	PPC potentiel (%)	EB (kcal/kg MS)	PEC actuel (%)	PEC potentiel (%)
Fourrages	Ensilage maïs	35	69	10	20	4452	32	32
	Ensilage sorgho	28	69	63	70	4301	42	47
	Ensilage d'orge immature	35	81	0	0	4511	0	0
	Betterave fourragère	13	104	0	0	4110	0	0
Fourrages de type «coproduit»	Paille de blé	88	35	0	0	4340	0	0
	pulpe de betterave surpressée	24	87	0	0	4086	0	0

• Concentrés (céréales, graines d'oléagineux et protéagineux, déshydratés, autres) consommés

Catégorie d'aliments	Matière première	MS (%)	MAT (g/kg MS)	PPC actuel	PPC potentiel	EB (kcal/kg MS)	PEC actuel	PEC potentiel
Céréales	Blé tendre	87	121	66	74	4351	67	73
	Maïs	86	94	15	60	4463	63	62
	Orge	87	116	61	66	4390	63	67
	Avoine	88	111	84	94	4656	79	90
	Triticale	87	110	66	80	4311	67	81
	Blé dur	88	165	70	82	4425	67	73
	Epeautre	88	130	61	66	4351	63	67
	Seigle	87	103	72	80	4294	74	81
Graines d'oléagineux et protéagineux	Colza	92	207	0	27	6836	57	70
	Soja extrudé	88	395	61	76	5530	54	67
	Tournesol	93	172	0	36	6849	58	71
	Féverole d'hiver	86	311	92	95	4475	83	90
	Féverole de printemps	86	294	92	95	4479	83	90
	Pois	26	239	74	92	4366	75	87
	Lupin blanc	89	385	92	96	5060	81	93
Concentrés déshydratés	Luzerne déshydratée (MAT < 16% MS)	91	151	0	30	4302	0	7
	Luzerne déshydratée (MAT < 23 % MS)	90	233	0	30	4279	0	7
	Concentré de luzerne	92	547	0	50	5149	0	50
	Maïs épi déshydraté	91	76	12	24	4417	52	52
Autres	Pomme de terre	20	108	0	0	4130	0	0
	Poudre de lait entier	96	243	0	50	5619	0	0
	Urée	98	2875	0	0	0	0	0

- **Concentrés tourteaux et coproduits (coproduits céréaliers, coproduits déshydratés)**

Catégorie d'aliments	Matières premières	MS (%)	MAT (g/kg MS)	PPC actuel	PPC potentiel	EB (kcal/kg MS)	PEC actuel	PEC potentiel
Tourteaux	Tourteau de soja 44	88	471	60	90	4615	38	56
	Tourteau de soja 46	88	494	60	90	4659	38	56
	Tourteau de soja 48	88	516	60	90	4703	38	56
	Tourteau de colza	89	380	0	55	4611	0	26
	Tourteau de lin expeller	90	342	0	55	4882	0	25
	Tourteau tournesol Hipro (Mer Noire)	90	363,7	0	50	4637	0	23
	Tourteau tournesol décortiqué (France)	90	393,7	0	50	4637	0	23
	Tourteau tournesol en partie décortiqué (France)	90	373	0	50	4628	0	23
	Tourteau tournesol non décortiqué (France)	89	312	0	50	4626	0	23
	Tourteau de palmiste expeller	91	163	0	0	4803	0	0
Coproduits céréaliers	Son de blé tendre	87	170	90	98	4511	90	98
	Remoulage blanc de blé tendre	88	170	90	98	4553	90	98
	Drêche de blé (distillerie amidon > 7 % MS)	90	376	0	0	5125	0	0
	Drêche de brasserie (orge)	92	262	0	0	4900	0	0
	Drêche de maïs	88	279	0	0	4628	0	0
	Corn Gluten Feed	88	219	0	0	4468	0	0
	Wheat Gluten Feed	88	164	0	0	4546	0	0
	Gluten 60 (Corn Gluten meal)	90	677	0	0	5510	0	0
Radicelles d'orge	76	244	0	0	4415	0	0	
Coproduits déshydratés et autres coproduits	Pulpe de betterave déshydratée	89	91	0	0	4060	0	0
	Pulpe d'agrumes déshydratée	89	71	0	0	4188	0	0
	Mélasses de betterave	76	145	0	80	3685	0	80
	Coque de soja	89	134	0	0	4355	0	0

Les valeurs MS, MAT et EB des fourrages à base d'herbe (herbe pâturée, foin, ensilage d'herbe et enrubannage) dont présentées Annexe V.

Les valeurs PPC et PEC de ces fourrages à base d'herbe sont nulles (Laisse et *al.*, 2016).

Les valeurs MAT et EB, PPC et PEC des aliments composés du commerce sont proposées en Annexe VIII.

Ces valeurs PPC et PEC des matières premières végétales sont applicables à toutes les productions animales.

Annexe IV : Clé de détermination des fourrages à base d'herbe, consommés par les élevages bovins viande étudiées, utilisée pour retrouver les valeurs MAT et EB des fourrages à base d'herbe (Baumont et al., 2007).

Surface en herbe	Bassin des élevages	Type de prairie	Exploitation de l'herbe	Type de fourrage produit	Stades végétatifs de pâturage ou de récolte	Modes de récolte, de fanage, de conservation
Prairie permanente	Massif Central	Prairie permanente de demi-montagne (Auvergne)	Pâturage	Herbe pâturée	Pâturage (50%) + repousse 6 sem. (50%)	
	Pays de Loire et Grand Est	Prairie permanente de plaine (Normandie)	Fauche	Foin	Epiaison (70%) + repousses 6 sem. (30%)	Fanage au sol par beau temps
				Ensilage	Epiaison	Préfané coupe fine, sans conservateur
				Enrubannage	Epiaison	Mi-fané
Prairie temporaire	Tous bassins	Mélange de 2 espèces (1 Ray-Grass + 1 Trèfle)	Pâturage (70% RGA + 30% TB)	Herbe pâturée	Feuillu (RGA) et végétatif (TB) (50%) + repousses 6 sem. (50%)	
			Fauche (70% RGI + 30% TV)	Foin	Floraison (RGI) et début floraison (TV) (70%) + repousses 6 sem. (30%)	Fanage au sol par beau temps
				Ensilage	Epiaison (RGI) et bourgeonn. (TV)	Préfané coupe fine, sans conservateur
				Enrubannage	Epiaison (RGI) et bourgeonn. (TV)	Mi-fané

Légende :

RGA : Ray-Grass Anglais ; TB : Trèfle Blanc ; RGI : Ray-Grass Italien ; TV : Trèfle Violet ; Repousse 6 sem. : stade « Repousse à tige de 6 semaines (2^{ème} cycle) » ; Bourgeonn. : stade de bourgeonnement.

Libellés des stades végétatifs, des modes de récolte de fanage et de conservation issus directement des tables INRA (Baumont et al., 2007).

Lecture de la clé de détermination de gauche à droite.

A chaque bassin d'élevage étudié correspond un type de prairie permanente. Pas de distinction des prairies temporaires selon les bassins.

Entre parenthèses, proportions des espèces végétales présentes dans le fourrage ou proportions des stades de l'herbe composant le fourrage (coefficient de pondération dans les calculs de MAT et EB des fourrages). Si pas de parenthèse, pas de pondération de l'espèce végétale ou du stade végétatif.

Annexe V : Tableau des valeurs de Protéines Brutes (MAT en g/kg MS) et d'Energie Brute (EB, en kcal/kg MS) des fourrages à base d'herbe (herbe pâturée, herbe conservée) des élevages bovins viande étudiées (Baumont *et al.*, 2007).

Matières premières	Matière Sèche (%)	MAT (g/kg MS)	EB (kcal/kg MS)
Herbe pâturée (prairie permanente demi montagne, Auvergne)	18,5	188.0	4416.0
Herbe pâturée (prairie permanente plaine, Normandie)	17,5	193,5	4412,5
Herbe pâturée (prairie temporaire 70% RGA + 30% TB)	16,6	235.0	4306.0
Foin (prairie permanente de demi-montagne, Auvergne)	85.0	122.0	4438.0
Foin (prairie permanente de plaine, Normandie)	85.0	106.0	4420,5
Foin (prairie temporaire 70 % RGI + 30 % TV)	85.0	125,4	4238.0
Ensilage d'herbe (prairie permanente de demi-montagne, Auvergne)	33,5	122.0	4483.0
Ensilage d'herbe (prairie permanente de plaine, Normandie)	33,5	120.0	4533.0
Ensilage d'herbe (prairie temporaire 70 % RGI + 30 % TV)	29.0	132.0	4307.0
Enrubannage (prairie permanente de demi-montagne, Auvergne)	55.0	114.0	4359.0
Enrubannage (prairie permanente de plaine, Normandie)	55.0	112.0	4427.0
Enrubannage (prairie temporaire 70 % RGI + 30 % TV)	55.0	125,7	4263,2

Ces valeurs ont été estimées à partir des fourrages à base d'herbe déterminés avec la clé de détermination (Annexe V) et les tables INRA (Baumont *et al.*, 2007).

Les valeurs MAT et EB ont été prises en compte dans les calculs d'efficacités totales protéiques et énergétiques resp. des élevages (PBj et EBj, j : aliment végétal, dénominateur des formules, Figure 8).

Dans les calculs d'efficacités totales d'une exploitation, choix de ces valeurs selon le bassin de l'exploitation considérée et la nature des prairies de cette exploitation.

Ces valeurs seront pondérées par le pourcentage des surfaces en prairies permanentes et prairies temporaires dans l'exploitation considérée.

Ex : Exploitation du Grand Est. Surfaces en prairies : 80 % en prairies permanentes + 20 % en prairies temporaires. Consommation de 100 tMS de foin à l'année.

Quantité de protéines consommées (en kg) = $100000 \times (0.8 \times 106.0 + 0.2 \times 125.4) = 10988000$ g de protéines soit **10988 kg de protéines consommées/an.**

(données issues du tableau ci-dessus)

Annexe VI : Composition en matières premières végétales des 9 aliments composés du commerce les plus consommés par les exploitations bovins viande étudiées, selon la méthode de formulation utilisée dans le cadre du projet ECOALIM (2015).

Compositions en % MS	Aliment BV14	Aliment BV27	Aliment BV40	Aliment JB	Complément broutard	Aliment VL18	Aliment VL22	Aliment VL40	Aliment veau
MAT « objectif » (g/kg MS)	140	270	400	160	140	180	220	400	180
Blé tendre	10	12			10	12	12		12
Maïs	5	7		9	5	8	8		10
Orge	26	11		26	26	24	24		23
Avoine	5		2	6	5	1	1	2	1
Triticale						2	2		
Soja (graine)									1
Luzerne déshydratée (MAT < 16% de MS)	2		3	6	2			3	
Concentré protéique de luzerne			1	1		1	1	1	1
Urée		2	2					2	
Tourteau de soja 46			34	3		2	2	34	2
Tourteau de colza		19	17			5	5	17	6
Tourteau tournesol Hipro (Mer Noire)	1	5	7	3	1			7	
Tourteau tournesol décortiqué (France)		3		1					
Tourteau tournesol en partie décortiqué (France)	2		4	4	2			4	
Tourteau tournesol non décortiqué (France)	7		10	1	7			10	
Tourteau de palmiste expeller									
Son de blé tendre	15	7	4	15	15	8	8	4	8
Remoulage blanc de blé tendre		13				7	7		7
Drèche de blé (distillerie amidon > 7 % MS)		3							1
Drèche de maïs	10	9	9	19	10	14	14	9	16
Corn Gluten Feed		2							
Wheat Gluten Feed	11	5		1	11	8	8		6
Gluten 60 (Corn Gluten meal)		2	5			3	3	5	1
Pulpe de betterave déshydratée	6	2		5	6	5	5		5

Légende :

MAT « objectif » (g/kg MS) : MAT annoncée pour cet aliment dans la base Diapason. Elle a servi de valeur « objectif » dans la formulation de ces aliments du commerce.

MAT < 16 % MS : MAT < 160 g/kg MS dans luzerne déshydratée ; Amidon > 7 % MS : teneur en amidon > 70 g/kg MS dans drèche de blé

Aliment VL : Aliment considéré « pour vache laitière » (base Diapason) ; Aliment JB : Aliment considéré pour jeunes bovins (base Diapason) ; Complément broutard : aliment complémentaire pour broutard (base Diapason).

2 critères de formulation : distance entre bassin de production de la matière première et le lieu de sa transformation (estimée) + le contexte économique des matières premières végétales (disponibilités sur le marché entre 2011 et 2014 inclus).

Annexe VII : Composition en matières premières végétales des 5 aliments composés du commerce les moins consommés par les exploitations bovins viande étudiées (INRATON).

Compositions en % MS	Méteil 1	Méteil 2	Mélange concentrés-coproduits	Aliment fibreux	Aliment sécheresse
MAT « objectif » (g/kg MS)	144	94	140	160	180
Mais floconné			40		
Orge				11	
Triticale	74	100			
Pois	26				
Luzerne déshydratée			7	25	17
Tourteau soja 46			2		
Tourteau colza				2	19
Tourteau lin			12		
Tourteau tournesol en partie décortiqué					4
Tourteau palmiste				3	
Son de blé tendre			2	1	6
Drèche de blé (amidon > 7 % MS)				13	
Drèche de brasserie					6
Drèche de maïs			2		
Radicelles d'orge				8	
Pulpe de betterave déshydratée			35	35	30
Pulpe d'agrumes déshydratée					16
Mélasse de betterave				2	
Coque de soja					2

Légende :

MAT (g/kg MS) = teneur en Protéines brutes (g/kg MS)

MAT « objectif » (g/kg MS) : MAT annoncée pour cet aliment dans la base Diapason. Elle a servi de valeur « objectif » dans la formulation de ces aliments du commerce.

MAT < 16 % MS : MAT < 160 g/kg MS dans luzerne déshydratée

Amidon > 7 % MS : teneur en amidon > 70 g/kg MS dans drèche de blé

Aliment VL : Aliment considéré « pour vache laitière » (base Diapason) ; Aliment JB : Aliment considéré pour jeunes bovins (base Diapason) ; Complément broutard : aliment complémentaire pour broutard (base Diapason)

Mélange « Concentré-coproduits » : aliment de type « mash » énergétique (base Diapason)

Méteil : mélange de céréales (grains, 1 ou plus) et 1 ou plusieurs protéagineux (grains)

Formulation sur le logiciel INRATON à partir des indications de la base Diapason (noms commerciaux, matières premières indiquées, ...)

Toutes les matières premières trouvées (via base Diapason ou sites commerciaux des fabricants d'aliments produisant les aliments indiqués dans Diapason) ont été prises en compte dans ces formulations (Brunschwig, 2003 ; Pellegrin, 2017 ; www.agriconomie.com ; www.paille-fourrage.com).

Annexe VIII : Valeurs MAT (en g/kg MS), EB (kcal/kg MS) et Proportions Consommables des Protéines et de l'Energie Consommables par l'Homme des aliments composés du commerce (PPC aliment et PEC aliment resp., en % MS). Ces proportions sont renseignées selon les scénarios « actuel » et « potentiel » de valorisation des matières premières végétales en alimentation (Annexes II et III). Valeurs PPC aliment et PEC aliment calculées à partir des compositions estimées en matières premières végétales. Toutes ces valeurs ont été calculées à partir des compositions de chaque aliment composé du commerce

Catégorie aliments	Aliments du commerce	MS (%)	MAT (g/kg MS)	PPC aliment actuel (% MS)	PPC aliment potentiel (% MS)	EB (kcal/kg MS)	PEC aliment actuel (% MS)	PEC aliment potentiel (% MS)
Métaux (graines)	Métaux grains (MAT = 14,4% MS)	82	144	69	85	4325	69	83
	Métaux grains (MAT=9,4% MS)	87	110	66	80	4311	67	81
Aliments du commerce	BV14	88	149	37	54	4463	44	49
	BV27	88	260	19	42	4494	37	46
	BV40	88	416	26	58	4556	19	36
	JB16	88	170	31	50	4504	41	48
	Complém. broutard	88	149	37	54	4462	44	49
	Mélange concentrés - coproduits	89	140	10	43	4369	28	32
	VL18	88	183	34	48	4485	44	49
	VL22	88	183	32	46	4485	44	49
	VL40	88	416	26	58	4556	19	36
	Aliment veau	88	177	34	49	4474	44	49
	Aliment fibreux	88	160	6	17	4320	8	12
Aliment sécheresse	90	180	5	36	4333	6	14	

Légende :

MAT (g/kg MS) = teneur en Protéines brutes (g/kg MS)

MAT (g/kg MS) : MAT obtenue à partir de la composition.

MAT < 16 % MS : MAT < 160 g/kg MS dans luzerne déshydratée

Amidon > 7 % MS : teneur en amidon > 70 g/kg MS dans drêche de blé

Aliment VL : Aliment considéré « pour vache laitière » (base Diapason)

Aliment JB : Aliment considéré pour jeunes bovins (base Diapason)

Complém. broutard : aliment complémentaire pour broutard (base Diapason)

Mélange « Concentré-coproduits » : aliment de type « mash » énergétique (base Diapason)

Métaux : mélange de céréales (grains, 1 ou plus) et 1 ou plusieurs protéagineux (grains) (base Diapason)

PPC aliment : Proportion Consommable de Protéines dans l'aliment considéré

PEC aliment : Proportions d'Energie Consommable dans l'aliment considéré.

Annexe IX : Teneurs en protéines (MAT, en g/kg) et énergie (kcal/kg) consommables par l'Homme, issues des produits animaux des bovins viande (d'après Laisse et al., 2016). Teneurs renseignées en fonction du type de bovin viande et le scénario de valorisation des produits animaux en alimentation humaine.

- Teneurs en protéines (g/kg) des produits animaux générés par les bovins viande de races allaitantes (1^{er} tableau) puis de races laitières et mixtes (2^{ème} tableau).

Teneur en protéines brutes des produits animaux issus des bovins viande (g/kg vif)						
	Types de bovins de races allaitantes					
Scénario	Vache	Génisse	Jeune Bovin	Broutard	Bœuf	Veau Rosé
« Total animal »	158					
« Viande »	75	76	81	78	79	78
« Total consommé »	95	96	100	95	98	95
« Total consommable »	100	101	104	100	102	100

Teneur en protéines brutes des produits animaux issus des bovins viande (g/kg vif)					
	Types de bovins de races laitières ou mixtes (Montbéliarde, Normande)				
Scénario	Vache	Jeune Bovin	Broutard	Bœuf	Veau
« Total animal »	158				
« Viande »	65	74	73	76	77
« Total consommé »	87	95	91	95	95
« Total consommable »	92	99	96	100	100

- Teneurs en énergie (kcal/kg) des produits animaux générés par les bovins viande de races allaitantes (1^{er} tableau) puis de races laitières et mixtes (2^{ème} tableau).

Teneur en énergie brute des produits animaux issus des bovins viande (kcal/kg vif)						
	Type génétique de bovins de races allaitantes					
Scénario	Vache	Génisse	Jeune Bovin	Broutard	Bœuf	Veau Rosé
« Total animal »	2579					
« Viande »	620	625	668	639	652	639
« Total consommé »	983	984	994	948	989	948
« Total consommable »	1566	1562	1514	1439	1541	1439

Teneur en énergie brute des produits animaux issus des bovins viande (kcal/kg vif)					
	Type génétique de bovins de races laitières ou mixtes (Montbéliarde, Normande)				
Scénario	Vache	Jeune Bovin	Broutard	Bœuf	Veau
« Total animal »	2579				
« Viande »	537	614	639	625	639
« Total consommé »	937	943	910	986	957
« Total consommable »	1568	1436	1391	1578	1481

Ces teneurs en protéines et énergie des produits animaux ont été renseignées selon 2 critères :

- Le scénario de valorisation des produits animaux en alimentation humaine (scénarios « Total animal », « Viande », « Total consommable », Tableau 7)
- Le type génétique du bovin viande considéré (vache, génisse,...) et le type de race (allaitante, laitière et mixte).

Afin de simplifier les calculs d'efficacité alimentaire, ces teneurs en protéines et énergie ont été évaluées en prenant en compte le type génétique des bovins viande considérés, la part des produits animaux du scénario dans le poids vif d'un bovin, les teneurs en protéines ou énergie des produits animaux (viande, coproduits) et leurs proportions consommables par l'Homme.

Ces teneurs en protéines et énergie n'ont pas été évaluées pour tous les types de bovins viande vendus ou achetés en France. Des simplifications ont été faites pour que chaque type de bovin renseigné dans la base Diapason corresponde à un type de bovin dans ces tableaux des teneurs en protéines et énergie des produits animaux.

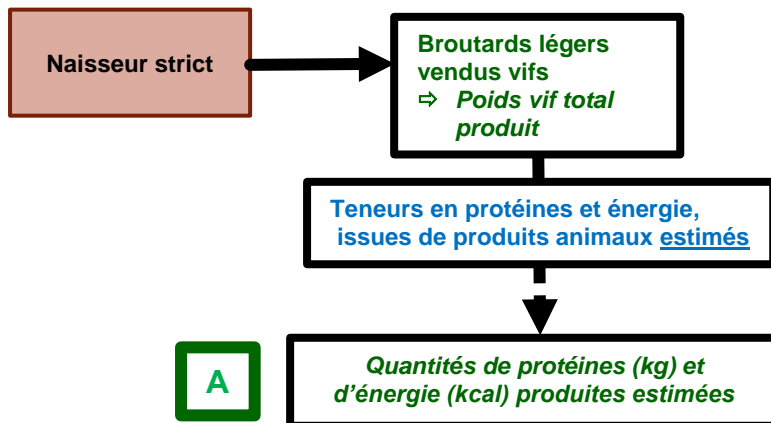
Tableau : Correspondance entre types de bovin viande renseignés dans les tableaux de l'Annexe II et types de bovins viande présents dans la base Diapason.

Type de bovins viande tableaux Annexe II	Type de bovins viande présentés dans base Diapason (types simplifiés)
Vache	Vache de réforme, maigre ou finie, vache suitée
Génisse	Génisse, maigre ou finie, génisses reproductrices et autres reproductrices
Broutard	Broutard et broutarde, léger ou lourd, jeunes bovins maigres
Bœuf	Bœuf, maigre ou fini, taureaux de réforme maigre, taureau reproducteur et autre reproducteur
Jeune bovin	Jeune bovin fini, taureaux de réforme gras
Veau	Veau sevré, veau de boucherie, veau sous la mère, veau lourd

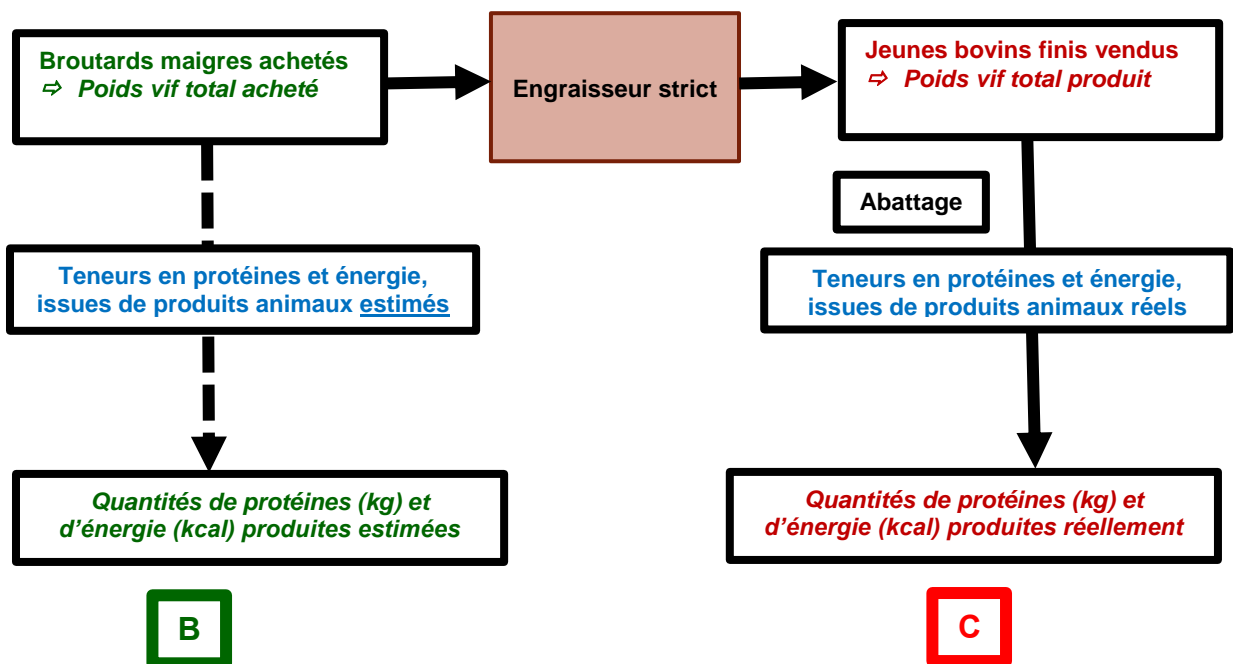
Annexe X : Modèle de détermination des productions nettes de protéines et d'énergie animales dans des systèmes produisant ou vendant des animaux dits « maigres » ou « légers » (complément figure 11)

- Détermination de la production nette de protéines et d'énergie dans un système Naisseur strict sans achat (système le plus simple)

Production nette Naisseur strict = A



Production nette Engraisser strict = C - B



Légende :

Poids vif total = somme des poids vifs des bovins vendus ou achetés à l'année

Naisseur strict : Naisseur sans achat, qui ne produit que des broutards légers

Produits animaux réels : produits animaux réellement produits car issus d'animaux abattus directement après vente pour la consommation humaine

Produits animaux estimés : produits animaux qui ne sont pas réellement produits car issus d'animaux dits « maigres » ou « légers », vendus vifs à d'autres élevages (dont des engraisseurs).

Dans ce modèle de calcul, les broutards légers auraient pu être remplacés par des broutards lourds, de jeunes bovins maigres ou des animaux reproducteurs. Le modèle de calcul de l'engraisser s'applique à d'autres systèmes (systèmes naisseurs avec achat, naisseurs-engraisser avec achat).

Annexe XI : Valeurs moyennes et écart-type des variables actives utilisées dans l'Analyse en Composantes principales (base Diapason).

Légende des variables actives présentées dans l'Annexe XI (rangées selon leur nature)

Nature des variables	Variables (35 variables au total)	Code variables (pour ACP)
Variables alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de concentrés consommés/UGB (kgMS/UGB) - Part des ensilages de maïs et sorgho dans la ration (% tMS de ration) - Parts herbe (herbe totale, herbe pâturée et herbe conservée) dans ration (% tMS de ration) - Parts céréales, tourteaux, coproduits et aliments de commerce dans ration (% tMS de ration) - Part paille + pulpe de betterave surpressée dans ration (% tMS de ration) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conc - Ens - Htot, Hpât, Hcons - Cér, Tour, Copr, Acom - Ppu
Variables alimentaires en lien avec production d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de concentrés consommés/kg de poids vif produit (kg MS/kg vifs) - Quantité de concentrés consommés/kg de viande produite (kg MS/kg viande) 	<ul style="list-style-type: none"> - ConcPV - ConcVia
Variables liées à la production d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Poids vif total produit (kg vifs) - Poids vif produit/UGB (kg vifs/UGB) - Poids carcasse produit/UGB (kg carcasse/UGB) - Part animaux abattus dans poids vif produit (% kg vifs) 	<ul style="list-style-type: none"> - PV - PVUGB - Pcar - Aaba
Variables zootechniques	<ul style="list-style-type: none"> - IVV (mois), Productivité numérique (%) - Taux de mortalité (%), GMQ (g/j) 	<ul style="list-style-type: none"> - IVV, Pnum - Mort, GMQ
Variables structurelles	<ul style="list-style-type: none"> - Chargement (UGB/ha SFP) et charge de travail (UGB/UMO) - Part SFP dans SAU (% ha SAU) - Part cultures de ventes dans SAU (% ha SAU) - Part STH dans la SFP (% ha SFP) - Part surfaces en maïs ou sorgho fourragers dans la SFP (% ha SFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - Char, Chtr - SFP - Cult - STH - mSFP
Variables économiques	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité économique EBE/PB et et EBE/UMO (€/UMO) - Revenu Disponible/UMO (€/UMO) - Part charges opérationnelles dans charges totale (% €) - Part charges opérationnelles atelier BV/charges opérationnelles totales (% €) - Part produit atelier BV/produit brut total (% €) - Frais d'élevage/UGB, Coût alimentaire/UGB, Coût concentrés/UGB (€/UGB) - Part coût alimentaire dans charges opérationnelles (% €) 	<ul style="list-style-type: none"> - EBE, EBetr - RDtr - OpTo - OpBV - PrBV - Fr, CoAl, CoCo - CoOp

Légende des 8 systèmes bovins viande étudiés.

Système	Naisseur légers du massif Central	Naisseur lourds du Massif Central	Naisseur-engraisseur de JB du Massif Central	Naisseur légers des Pays de Loire	Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire	Naisseur du Grand Est	Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est	Engraisseur de JB (tous bassins)
Code	Naiss légers Massif Central	Naiss lourds Massif Central	Naiss-engrais de JB Massif Cdntal	Naiss légers Pays de Loire	Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Naiss Grand Est	Naiss-engrais de JB Grand Est	Engrais de JB

• **Variables actives d'alimentation** (12/35 variables actives étudiées)

Systèmes bovins viande		Conc (kg MS/UGB)	Ens	Htot	Hpat	Hcons	Ppu	Cér	Tour	Copr	Acom	ConcPV (kg/kg vif)	ConcVia (kg/kg de viande)
Naiss légers Massif Central	Moy.	465	1,92	91,1	43,1	48,0	0,522	3,98	0,926	1,11	2,55	193	4,29
	Ecart-type	212	3,80	5,28	7,96	9,39	1,31	2,47	0,853	0,997	2,24	93,3	1,70
Naiss lourds Massif Central	Moy.	583	3,28	86,5	44,5	42,0	0,724	5,16	1,98	2,13	4,41	306	4,85
	Ecart-type	184	5,09	6,80	6,87	7,31	1,78	2,35	1,52	0,927	2,43	189	1,53
Naiss-engrais de JB Massif Central	Moy.	798	10,3	79,0	34,9	44,1	0,343	6,06	2,41	1,59	3,58	448	5,81
	Ecart-type	256	8,33	9,70	8,80	11,2	0,735	2,50	1,15	1,12	2,38	159	1,47
Naiss légers Pays de Loire	Moy.	197	5,79	90,6	39,5	51,1	0,354	1,60	0,460	0,472	1,18	85,1	1,84
	Ecart-type	129	9,38	10,7	4,62	9,89	0,762	1,17	0,729	0,597	1,31	61,1	1,32
Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Moy.	776	12,4	75,8	37,5	38,3	0,687	5,27	3,28	1,92	5,09	340	5,30
	Ecart-type	456	10,5	14,9	11,5	10,1	0,900	3,28	3,00	1,79	4,11	219	2,14
Naiss Grand Est	Moy.	451	3,17	86,6	52,2	34,3	3,02	3,31	0,650	2,25	2,61	138	3,68
	Ecart-type	319	6,12	9,67	5,95	4,51	4,29	2,10	0,58	3,44	3,84	79,9	1,72
Naiss-engrais de JB Grand Est	Moy.	763	11,7	70,4	45,2	25,2	4,95	5,48	2,73	4,14	3,11	249	4,43
	Ecart-type	340	10,9	23,6	14,4	9,93	8,90	2,31	2,45	4,57	2,61	156	1,48
Engrais de JB	Moy.	1955	29,1	8,28	0,00	8,28	29,5	12,6	9,80	9,92	16,3	268	5,41
	Ecart-type	1347	17,5	7,51	0,00	7,51	24,9	12,2	5,45	5,81	7,25	146	2,47

Moy. : Moyenne

Les variables Ens, Htot, Hpat, Hcons, Ppu, Cér, Tour, Copr et Acom sont exprimées en % tMS de la ration.

- **Variables actives liées à la production de bovins** (4/35 variables actives étudiées)

Systèmes bovin viande		PV (kg)	PVUGB (kg vif/UGB)	Pcar (kg carcasse/UGB)	Aaba (% kg vif)
Naiss légers Massif Central	Moy.	34477	284	166	36,0
	Ecart-type	11869	41,4	23,4	19,1
Naiss lourds Massif Central	Moy.	55035	335	183	39,7
	Ecart-type	27957	54,7	31,0	21,5
Naiss-engrais de JB Massif Central	Moy.	73564	357	201	86,5
	Ecart-type	27022	52,2	24,9	13,6
Naiss légers Pays de Loire	Moy.	36684	290	162	46,7
	Ecart-type	13375	56,7	31,1	25,5
Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Moy.	70649	400	208	92,1
	Ecart-type	46859	177	57,3	9,15
Naiss Grand Est	Moy.	32945	316	179	45,0
	Ecart-type	19812	123	63,9	16,9
Naiss-engrais de JB Grand Est	Moy.	66594	453	244	93,1
	Ecart-type	31802	68,8	41,0	8,19
Engrais de JB	Moy.	242349	1341	568	100
	Ecart-type	94978	608	429	0,00

- **Variables actives de performances zootechniques** (reproduction, croissance, santé) (4/35 variables actives étudiées)

Systèmes bovin viande		IVV (mois)	Mort (%)	Pnum (%)	GMQ (g/j)
Naiss légers Massif Central	Moy.	377	6,36	89,0	505
	Ecart-type	9,91	2,97	4,59	58,4
Naiss lourds Massif Central	Moy.	374	6,91	87,2	593
	Ecart-type	5,01	2,56	5,47	69,0
Naiss-engrais de JB Massif Central	Moy.	377	6,64	88,9	625
	Ecart-type	8,78	3,49	6,12	64,0
Naiss légers Pays de Loire	Moy.	378	12,5	85,2	496
	Ecart-type	9,04	5,40	7,01	46,5
Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Moy.	377	9,64	83,5	646
	Ecart-type	11,7	3,40	4,95	151
Naiss Grand Est	Moy.	386	8,29	88,9	481
	Ecart-type	12,8	6,46	8,74	138
Naiss-engrais de JB Grand Est	Moy.	376	8,32	90,5	686
	Ecart-type	6,94	4,64	5,00	60,2
Engrais de JB	Moy.	0,00	0,00	0,00	1267
	Ecart-type	0,00	0,00	0,00	142

- **Variables actives structurelles** (charges de travail, assolement) (5/35 variables actives étudiées)

Systèmes bovin viande		Chtr (UGB/UMO)	SFP (% ha SAU)	Cult (% ha SAU)	mSFP (% ha SFP)	STH (% ha SFP)
Naiss légers Massif Central	Moy.	96,6	83,2	11,8	1,51	46,2
	Ecart-type	62,8	18,1	18,1	3,28	28,9
Naiss lourds Massif Central	Moy.	110	90,5	2,53	2,21	66,8
	Ecart-type	65,3	8,60	8,60	3,23	25,2
Naiss-engrais de JB Massif Central	Moyenne	139	79,2	10,8	8,33	45,0
	Ecart-type	64,9	18,8	18,9	5,94	28,2
Naiss légers Pays de Loire	Moy.	96,8	84,6	13,1	4,24	34,8
	Ecart-type	34,0	9,98	9,75	5,65	21,7
Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Moy.	96,5	78,6	19,3	14,6	33,7
	Ecart-type	23,5	10,6	10,5	12,4	26,8
Naiss Grand Est	Moy.	70,0	52,3	45,7	1,92	96,5
	Ecart-type	35,6	28,5	28,5	4,27	6,45
Naiss-engrais de JB Grand Est	Moy.	77,0	53,2	44,8	7,15	90,7
	Ecart-type	29,0	17,0	17,0	6,28	7,93
Engrais de JB	Moy.	110	39,9	57,1	52,4	21,8
	Ecart-type	60,8	26,4	26,4	28,5	12,8

- **Variables actives économiques** (10/35 variables actives étudiées)

Systèmes bovin viande		EBE (EBE/PB)	EBEtr (EBE/UMO)	RDtr (€/UMO)	OpTo (% €)	OpBV (% €)	PrBV (% €)	Fr (€/UGB)	CoAl (€/UGB)	CoOp (% €)	CoCo (€/UGB)
Naiss légers Massif Central	Moy.	37,6	51580	29662	43,1	26,3	80,3	20,3	124	55,8	118
	Ecart-type	7,71	16868	14209	9,33	7,20	18,1	13,5	48,7	8,30	47,3
Naiss lourds Massif Central	Moy.	34,9	50522	25212	47,3	32,8	90,9	37,4	158	52,8	145
	Ecart-type	6,15	15923	9209	6,71	4,41	8,29	23,2	39,9	9,76	43,4
Naiss-engrais de JB Massif Central	Moyenne	30,1	59470	26888	50,3	34,1	80,4	47,3	208	61,8	194
	Ecart-type	5,71	26573	15358	4,71	7,15	17,8	43,6	48,2	8,45	49,6
Naiss légers Pays de Loire	Moy.	33,4	43324	19661	45,7	23,7	78,1	36,1	78,7	39,8	70,3
	Ecart-type	8,773	16484,1	14036,9	10,26	7,896	19,87	19,74	32,57	6,859	36,16
Naiss-engrais de JB + bœufs Pays de Loire	Moy.	31,5	47287	22735	53,5	31,3	81,6	35,1	210	60,7	199
	Ecart-type	7,55	13856	12356	10,1	7,52	8,85	17,0	108	10,8	103
Naiss Grand Est	Moy.	31,6	60768	26950	46,2	27,6	49,0	45,6	128	47,3	91,6
	Ecart-type	10,3	308723	14204	5,82	9,96	29,5	30,7	113	11,2	87,8
Naiss-engrais de JB Grand Est	Moy.	33,6	56299	23582	49,6	32,4	53,8	60,5	192	60,0	144
	Ecart-type	7,95	13365	14356	3,64	6,65	18,0	39,7	55,8	7,84	48,1
Engrais de JB	Moy.	19,4	62532	6689	32,6	61,2	63,6	6,90	595	46,7	276
	Ecart-type	7,41	33927	25783	31,3	12,4	18,2	7,68	261	44,8	374

Annexe XII : Sorties des analyses de variance à 1 facteur et des comparaisons de moyennes (test de Student) au risque d'erreur standard de 5% : Indicateurs d'efficience alimentaire étudiés (extraits des sorties de RCommander).

- Légende des 8 systèmes bovins viande étudiés, commune à l'ensemble des tests statistiques (analyses de variance à 1 facteur et comparaisons de moyennes par test de Student, au risque d'erreur 5%)

Système	Naisseur légers du massif Central	Naisseur lourds du Massif Central	Naisseur-engraisseur de JB du Massif Central	Naisseur légers des Pays de Loire	Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire	Naisseur du Grand Est	Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est	Engraisseur de JB (tous bassins)
Code	naiss léger mc	naiss lourd mc	naiss eng mc	naiss léger pdl	naiss eng jb pdl	naiss ge	naiss eng ge	engrais jb

- * : Probabilité critique < 5% (risque d'erreur standard choisi).

- **Indicateur d'efficience alimentaire testé : ECPT**

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur l'ECPT : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : ECPT, 142 individus, risque d'erreur α de 5%).

Ho : Pas d'effet du système sur l'ECPT.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
système	7	0.1820	0.025997	13.04	9.96e-13 *
Residuals	134	0.2672	0.001994		

- Ho rejetée : effet du système sur l'ECET au risque d'erreur de 5%.

- Comparaison de moyennes d'ECPT entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5%).
- Ho : Pas de différence d'ECPT selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
naiss eng ge - engrais jb == 0	-0.110452	0.020069	-5.504	<0.001	*
naiss eng jb pdl - engrais jb == 0	-0.128026	0.016619	-7.704	<0.001	*
naiss eng mc - engrais jb == 0	-0.129098	0.016917	-7.631	<0.001	*
naiss ge - engrais jb == 0	-0.135092	0.016917	-7.986	<0.001	*
naiss leger mc - engrais jb == 0	-0.140473	0.016619	-8.453	<0.001	*
naiss leger pdl - engrais jb == 0	-0.137507	0.018638	-7.378	<0.001	*
naiss lourd mc - engrais jb == 0	-0.130393	0.015739	-8.285	<0.001	*
naiss eng jb pdl - naiss eng ge == 0	-0.017575	0.017789	-0.988	0.975	
naiss eng mc - naiss eng ge == 0	-0.018646	0.018068	-1.032	0.968	
naiss ge - naiss eng ge == 0	-0.024640	0.018068	-1.364	0.868	
naiss leger mc - naiss eng ge == 0	-0.030021	0.017789	-1.688	0.689	
naiss leger pdl - naiss eng ge == 0	-0.027056	0.019689	-1.374	0.864	
naiss lourd mc - naiss eng ge == 0	-0.019941	0.016970	-1.175	0.936	
naiss eng mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.001072	0.014138	-0.076	1.000	
naiss ge - naiss eng jb pdl == 0	-0.007065	0.014138	-0.500	1.000	
naiss leger mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.012446	0.013780	-0.903	0.985	
naiss leger pdl - naiss eng jb pdl == 0	-0.009481	0.016158	-0.587	0.999	
naiss lourd mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.002366	0.012704	-0.186	1.000	
naiss ge - naiss eng mc == 0	-0.005994	0.014487	-0.414	1.000	
naiss leger mc - naiss eng mc == 0	-0.011374	0.014138	-0.805	0.992	
naiss leger pdl - naiss eng mc == 0	-0.008409	0.016464	-0.511	1.000	
naiss lourd mc - naiss eng mc == 0	-0.001294	0.013092	-0.099	1.000	
naiss leger mc - naiss ge == 0	-0.005381	0.014138	-0.381	1.000	
naiss leger pdl - naiss ge == 0	-0.002416	0.016464	-0.147	1.000	
naiss lourd mc - naiss ge == 0	0.004699	0.013092	0.359	1.000	
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	0.002965	0.016158	0.184	1.000	
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	0.010080	0.012704	0.793	0.993	
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	0.007115	0.015251	0.467	1.000	

- ⇒ Ho rejetée : différences d'ECPT selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5% (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).

- **Indicateur d'efficacité alimentaire testé : ECET**

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur l'ECET : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : ECET, 142 individus, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas d'effet du système sur l'ECET.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
systeme	7	0.02023	0.0028899	4.208	0.000318 *
Residuals	134	0.09203	0.0006868		

⇒ Ho rejetée : effet du système sur l'ECET au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes d'ECPT entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas de différence d'ECET selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng jb ge - engrais jb == 0	-0.0328038	0.0117793	-2.785	0.10443
naiss eng jb mc - engrais jb == 0	-0.0410770	0.0099291	-4.137	0.00154 *
naiss eng pdl - engrais jb == 0	-0.0416032	0.0097542	-4.265	< 0.001 *
naiss ge - engrais jb == 0	-0.0471311	0.0099291	-4.747	< 0.001 *
naiss leger mc - engrais jb == 0	-0.0461802	0.0097542	-4.734	< 0.001 *
naiss leger pdl - engrais jb == 0	-0.0449804	0.0109396	-4.112	0.00187 *
naiss lourd mc - engrais jb == 0	-0.0414966	0.0092376	-4.492	< 0.001 *
naiss eng jb mc - naiss eng jb ge == 0	-0.0082732	0.0106048	-0.780	0.99362
naiss eng pdl - naiss eng jb ge == 0	-0.0087994	0.0104413	-0.843	0.98984
naiss ge - naiss eng jb ge == 0	-0.0143273	0.0106048	-1.351	0.87355
naiss leger mc - naiss eng jb ge == 0	-0.0133764	0.0104413	-1.281	0.90131
naiss leger pdl - naiss eng jb ge == 0	-0.0121766	0.0115564	-1.054	0.96363
naiss lourd mc - naiss eng jb ge == 0	-0.0086928	0.0099603	-0.873	0.98749
naiss eng pdl - naiss eng jb mc == 0	-0.0005263	0.0082979	-0.063	1.00000
naiss ge - naiss eng jb mc == 0	-0.0060542	0.0085028	-0.712	0.99637
naiss leger mc - naiss eng jb mc == 0	-0.0051033	0.0082979	-0.615	0.99856
naiss leger pdl - naiss eng jb mc == 0	-0.0039034	0.0096635	-0.404	0.99991
naiss lourd mc - naiss eng jb mc == 0	-0.0004196	0.0076839	-0.055	1.00000
naiss ge - naiss eng pdl == 0	-0.0055279	0.0082979	-0.666	0.99761
naiss leger mc - naiss eng pdl == 0	-0.0045770	0.0080878	-0.566	0.99916
naiss leger pdl - naiss eng pdl == 0	-0.0033772	0.0094837	-0.356	0.99996
naiss lourd mc - naiss eng pdl == 0	0.0001067	0.0074565	0.014	1.00000
naiss leger mc - naiss ge == 0	0.0009509	0.0082979	0.115	1.00000
naiss leger pdl - naiss ge == 0	0.0021507	0.0096635	0.223	1.00000
naiss lourd mc - naiss ge == 0	0.0056345	0.0076839	0.733	0.99564
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	0.0011998	0.0094837	0.127	1.00000
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	0.0046836	0.0074565	0.628	0.99836
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	0.0034838	0.0089515	0.389	0.99993

⇒ Ho rejetée : différences d'ECPT selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats)

- **Indicateur d'efficacité alimentaire testé : PPC actuelle ration**

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur la PPC actuelle ration : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : PPC actuelle ration, 142 individus, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas d'effet du système sur la PPC actuelle ration.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
systeme	7	1621	231.6	26.61	<2e-16 *
Residuals	134	1166	8.7		

⇒ Ho rejetée : effet du système sur la PPC actuelle ration au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes de PPC actuelle ration entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5%).

Ho : Pas de différence de PPC actuelle ration selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng ge - engrais jb == 0	-10.7481	1.3259	-8.106	< 0.001 *
naiss eng jb pdl - engrais jb == 0	-10.2797	1.0980	-9.362	< 0.001 *
naiss eng mc - engrais jb == 0	-10.5997	1.1177	-9.484	< 0.001 *
naiss ge - engrais jb == 0	-13.0262	1.1177	-11.655	< 0.001 *
naiss leger mc - engrais jb == 0	-12.5819	1.0980	-11.459	< 0.001 *
naiss leger pdl - engrais jb == 0	-14.2478	1.2314	-11.570	< 0.001 *
naiss lourd mc - engrais jb == 0	-11.7978	1.0398	-11.346	< 0.001 *
naiss eng jb pdl - naiss eng ge == 0	0.4684	1.1753	0.398	0.99992
naiss eng mc - naiss eng ge == 0	0.1484	1.1937	0.124	1.00000
naiss ge - naiss eng ge == 0	-2.2781	1.1937	-1.908	0.54026
naiss leger mc - naiss eng ge == 0	-1.8338	1.1753	-1.560	0.76711
naiss leger pdl - naiss eng ge == 0	-3.4997	1.3008	-2.690	0.13096
naiss lourd mc - naiss eng ge == 0	-1.0497	1.1212	-0.936	0.98121
naiss eng mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.3199	0.9340	-0.343	0.99997
naiss ge - naiss eng jb pdl == 0	-2.7465	0.9340	-2.940	0.06992
naiss leger mc - naiss eng jb pdl == 0	-2.3022	0.9104	-2.529	0.18776
naiss leger pdl - naiss eng jb pdl == 0	-3.9680	1.0675	-3.717	0.00675 *
naiss lourd mc - naiss eng jb pdl == 0	-1.5180	0.8393	-1.809	0.60818
naiss ge - naiss eng mc == 0	-2.4266	0.9571	-2.535	0.18483
naiss leger mc - naiss eng mc == 0	-1.9822	0.9340	-2.122	0.39909
naiss leger pdl - naiss eng mc == 0	-3.6481	1.0878	-3.354	0.02158 *
naiss lourd mc - naiss eng mc == 0	-1.1981	0.8649	-1.385	0.85858
naiss leger mc - naiss ge == 0	0.4443	0.9340	0.476	0.99973
naiss leger pdl - naiss ge == 0	-1.2215	1.0878	-1.123	0.94898
naiss lourd mc - naiss ge == 0	1.2285	0.8649	1.420	0.84208
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	-1.6659	1.0675	-1.560	0.76704
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	0.7841	0.8393	0.934	0.98145
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	2.4500	1.0076	2.431	0.22956

⇒ Ho rejetée : différences de PPC actuelle ration selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).

- **Indicateur d'efficacité alimentaire testé : PEC actuelle ration**

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur la PEC actuelle ration : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : PEC actuelle ration, 142 individus, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas d'effet du système sur la PEC actuelle ration.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
systeme	7	3234	462.0	23.75	<2e-16 *
Residuals	134	2606	19.4		

⇒ Ho rejetée : effet du système sur la PPC actuelle ration au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes de PEC actuelle ration entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas de différence de PPC actuelle ration selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng ge - engrais jb == 0	-13.9287	1.9822	-7.027	<0.01 *
naiss eng jb pdl - engrais jb == 0	-12.9562	1.6414	-7.893	<0.01 *
naiss eng mc - engrais jb == 0	-13.7809	1.6709	-8.248	<0.01 *
naiss ge - engrais jb == 0	-18.2431	1.6709	-10.918	<0.01 *
naiss leger mc - engrais jb == 0	-17.7828	1.6414	-10.834	<0.01 *
naiss leger pdl - engrais jb == 0	-18.9980	1.8409	-10.320	<0.01 *
naiss lourd mc - engrais jb == 0	-16.6552	1.5545	-10.714	<0.01 *
naiss eng jb pdl - naiss eng ge == 0	0.9725	1.7571	0.553	0.9993
naiss eng mc - naiss eng ge == 0	0.1478	1.7846	0.083	1.0000
naiss ge - naiss eng ge == 0	-4.3144	1.7846	-2.418	0.2366
naiss leger mc - naiss eng ge == 0	-3.8541	1.7571	-2.193	0.3553
naiss leger pdl - naiss eng ge == 0	-5.0693	1.9447	-2.607	0.1584
naiss lourd mc - naiss eng ge == 0	-2.7265	1.6761	-1.627	0.7272
naiss eng mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.8247	1.3964	-0.591	0.9989
naiss ge - naiss eng jb pdl == 0	-5.2869	1.3964	-3.786	<0.01 *
naiss leger mc - naiss eng jb pdl == 0	-4.8266	1.3610	-3.546	0.0118 *
naiss leger pdl - naiss eng jb pdl == 0	-6.0418	1.5959	-3.786	<0.01 *
naiss lourd mc - naiss eng jb pdl == 0	-3.6990	1.2548	-2.948	0.0694
naiss ge - naiss eng mc == 0	-4.4621	1.4309	-3.119	0.0433 *
naiss leger mc - naiss eng mc == 0	-4.0019	1.3964	-2.866	0.0853
naiss leger pdl - naiss eng mc == 0	-5.2171	1.6262	-3.208	0.0335 *
naiss lourd mc - naiss eng mc == 0	-2.8743	1.2931	-2.223	0.3380
naiss leger mc - naiss ge == 0	0.4603	1.3964	0.330	1.0000
naiss leger pdl - naiss ge == 0	-0.7549	1.6262	-0.464	0.9998
naiss lourd mc - naiss ge == 0	1.5879	1.2931	1.228	0.9196
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	-1.2152	1.5959	-0.761	0.9945
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	1.1276	1.2548	0.899	0.9852
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	2.3428	1.5064	1.555	0.7702

⇒ Ho rejetée : différences de PEC actuelle ration selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).

- **Indicateur d'efficience alimentaire testé : ECPC**

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur l'ECPC : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : ECPC, 142 individus, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas d'effet du système sur l'ECPC.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
systeme	7	89.88	12.840	10.39	2.26e-10 *
Residuals	134	165.65	1.236		

⇒ Ho rejetée : effet du système sur l'ECPC au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes d'ECPC entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas de différence d'ECPC selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng ge - engrais jb == 0	0.16147	0.49974	0.323	1.0000
naiss eng jb pdl - engrais jb == 0	-0.14134	0.41382	-0.342	1.0000
naiss eng mc - engrais jb == 0	-0.23722	0.42124	-0.563	0.9992
naiss ge - engrais jb == 0	0.91414	0.42124	2.170	0.3695
naiss leger mc - engrais jb == 0	0.20783	0.41382	0.502	0.9996
naiss leger pdl - engrais jb == 0	2.73595	0.46411	5.895	<0.001 *
naiss lourd mc - engrais jb == 0	0.10302	0.39190	0.263	1.0000
naiss eng jb pdl - naiss eng ge == 0	-0.30282	0.44297	-0.684	0.9972
naiss eng mc - naiss eng ge == 0	-0.39869	0.44991	-0.886	0.9863
naiss ge - naiss eng ge == 0	0.75267	0.44991	1.673	0.6980
naiss leger mc - naiss eng ge == 0	0.04636	0.44297	0.105	1.0000
naiss leger pdl - naiss eng ge == 0	2.57448	0.49028	5.251	<0.001 *
naiss lourd mc - naiss eng ge == 0	-0.05845	0.42256	-0.138	1.0000
naiss eng mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.09588	0.35204	-0.272	1.0000
naiss ge - naiss eng jb pdl == 0	1.05548	0.35204	2.998	0.0604
naiss leger mc - naiss eng jb pdl == 0	0.34918	0.34312	1.018	0.9700
naiss leger pdl - naiss eng jb pdl == 0	2.87730	0.40235	7.151	<0.001 *
naiss lourd mc - naiss eng jb pdl == 0	0.24437	0.31634	0.772	0.9940
naiss ge - naiss eng mc == 0	1.15136	0.36073	3.192	0.0350 *
naiss leger mc - naiss eng mc == 0	0.44506	0.35204	1.264	0.9074
naiss leger pdl - naiss eng mc == 0	2.97317	0.40997	7.252	<0.001 *
naiss lourd mc - naiss eng mc == 0	0.34024	0.32599	1.044	0.9655
naiss leger mc - naiss ge == 0	-0.70630	0.35204	-2.006	0.4738
naiss leger pdl - naiss ge == 0	1.82181	0.40997	4.444	<0.001 *
naiss lourd mc - naiss ge == 0	-0.81112	0.32599	-2.488	0.2044
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	2.52812	0.40235	6.283	<0.001 *
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	-0.10481	0.31634	-0.331	1.0000
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	-2.63293	0.37977	-6.933	<0.001 *

⇒ Ho rejetée : différences d'ECPC selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).

- **Indicateur d'efficacité alimentaire testé : ECEC**

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur l'ECEC : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : ECEC, 142 individus, risque d'erreur α de 5%).

Ho : Pas d'effet du système sur l'ECEC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
systeme	7	51.95	7.422	10.04	4.69e-10 *
Residuals	134	99.01	0.739		

⇒ Ho rejetée : effet du système sur l'ECEC au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes d'ECEC entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5%).
Ho : Pas de différence d'ECEC selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng jb ge - engrais jb == 0	0.031029	0.386363	0.080	1.000
naiss eng jb mc - engrais jb == 0	-0.047850	0.325676	-0.147	1.000
naiss eng pdl - engrais jb == 0	0.275785	0.319939	0.862	0.988
naiss ge - engrais jb == 0	0.268451	0.325676	0.824	0.991
naiss leger mc - engrais jb == 0	0.083871	0.319939	0.262	1.000
naiss leger pdl - engrais jb == 0	2.247355	0.358819	6.263	<1e-04 *
naiss lourd mc - engrais jb == 0	0.076068	0.302993	0.251	1.000
naiss eng jb mc - naiss eng jb ge == 0	-0.078879	0.347840	-0.227	1.000
naiss eng pdl - naiss eng jb ge == 0	0.244756	0.342474	0.715	0.996
naiss ge - naiss eng jb ge == 0	0.237422	0.347840	0.683	0.997
naiss leger mc - naiss eng jb ge == 0	0.052842	0.342474	0.154	1.000
naiss leger pdl - naiss eng jb ge == 0	2.216326	0.379049	5.847	<1e-04 *
naiss lourd mc - naiss eng jb ge == 0	0.045039	0.326699	0.138	1.000
naiss eng pdl - naiss eng jb mc == 0	0.323635	0.272171	1.189	0.932
naiss ge - naiss eng jb mc == 0	0.316301	0.278892	1.134	0.946
naiss leger mc - naiss eng jb mc == 0	0.131721	0.272171	0.484	1.000
naiss leger pdl - naiss eng jb mc == 0	2.295205	0.316965	7.241	<1e-04 *
naiss lourd mc - naiss eng jb mc == 0	0.123917	0.252034	0.492	1.000
naiss ge - naiss eng pdl == 0	-0.007334	0.272171	-0.027	1.000
naiss leger mc - naiss eng pdl == 0	-0.191914	0.265279	-0.723	0.996
naiss leger pdl - naiss eng pdl == 0	1.971570	0.311068	6.338	<1e-04 *
naiss lourd mc - naiss eng pdl == 0	-0.199717	0.244575	-0.817	0.992
naiss leger mc - naiss ge == 0	-0.184580	0.272171	-0.678	0.997
naiss leger pdl - naiss ge == 0	1.978904	0.316965	6.243	<1e-04 *
naiss lourd mc - naiss ge == 0	-0.192384	0.252034	-0.763	0.994
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	2.163484	0.311068	6.955	<1e-04 *
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	-0.007804	0.244575	-0.032	1.000
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	-2.171287	0.293610	-7.395	<1e-04 *

⇒ Ho rejetée : différences d'ECEC selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).

Annexe XIII : Cercle de corrélation et graphique des individus sur le plan 2 (axes 3 et 4, 18.31% de la variabilité) d'Analyse en Composantes Principales (plan non étudié dans ce travail) (ExcelStat).

Légende des variables actives étudiées, commune aux Annexes XIII, XIV et XV.

Nature des variables	Variables (35 variables au total)	Code variables (pour ACP)
Variables alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de concentrés consommés/UGB (kgMS/UGB) - Part des ensilages de maïs et sorgho dans la ration (% tMS de ration) - Parts herbe (herbe totale, herbe pâturée et herbe conservée) dans ration (% tMS de ration) - Parts céréales, tourteaux, coproduits et aliments de commerce dans ration (% tMS de ration) - Part paille + pulpe de betterave surpressée dans ration (% tMS de ration) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conc - Ens - Htot, Hpât, Hcons - Cér, Tour, Copr, Acom - Ppu
Variables alimentaires en lien avec production d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de concentrés consommés/kg de poids vif produit (kg MS/kg vifs) - Quantité de concentrés consommés/kg de viande produite (kg MS/kg viande) 	<ul style="list-style-type: none"> - ConcPV - ConcVia
Variables liées à la production d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Poids vif total produit (kg vifs) - Poids vif produit/UGB (kg vifs/UGB) - Poids carcasse produit/UGB (kg carcasse/UGB) - Part animaux abattus dans poids vif produit (% kg vifs) 	<ul style="list-style-type: none"> - PV - PVUGB - Pcar - Aaba
Variables zootechniques	<ul style="list-style-type: none"> - IVV (mois), Productivité numérique (%) - Taux de mortalité (%), GMQ (g/j) 	<ul style="list-style-type: none"> - IVV, Pnum - Mort, GMQ
Variables structurelles	<ul style="list-style-type: none"> - Chargement (UGB/ha SFP) et charge de travail (UGB/UMO) - Part SFP dans SAU (% ha SAU) - Part cultures de ventes dans SAU (% ha SAU) - Part STH dans la SFP (% ha SFP) - Part surfaces en maïs ou sorgho fourragers dans la SFP (% ha SFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - Char, Chtr - SFP - Cult - STH - mSFP
Variables économiques	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité économique EBE/PB et et EBE/UMO (€/UMO) - Revenu Disponible/UMO (€/UMO) - Part charges opérationnelles dans charges totale (% €) - Part charges opérationnelles atelier BV/charges opérationnelles totales (% €) - Part produit atelier BV/produit brut total (% €) - Frais d'élevage/UGB, Coût alimentaire/UGB, Coût concentrés/UGB (€/UGB) - Part coût alimentaire dans charges opérationnelles (% €) 	<ul style="list-style-type: none"> - EBE, EBetr - RDtr - OpTo - OpBV - PrBV - Fr, CoAl, CoCo - CoOp

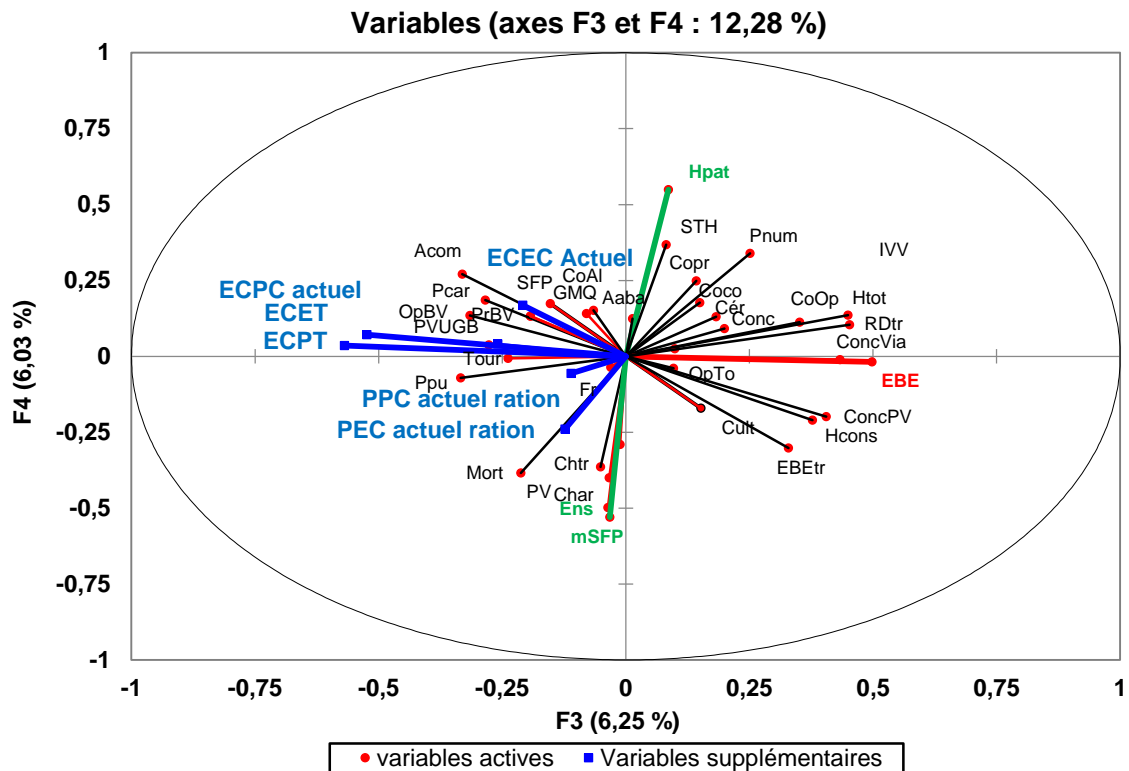


Figure : Cercle de corrélation regroupant les 35 variables actives testées et les 6 variables illustratives (indicateurs d'efficacité alimentaires) sur le plan 2 (axes 3 et 4, 18.31 % de la variabilité expliquée) (ExcelStat).
 Les variables en bleu : variables illustratives (ou supplémentaires) : variables des indicateurs d'efficacité
 Les variables en rouge : variables actives bien corrélées à l'axe 3
 Les variables en vert : variables actives bien corrélées à l'axe 4
 Les variables actives tracées en gras sont les principales variables contributrices et les variables les mieux corrélées, aux axes correspondants.

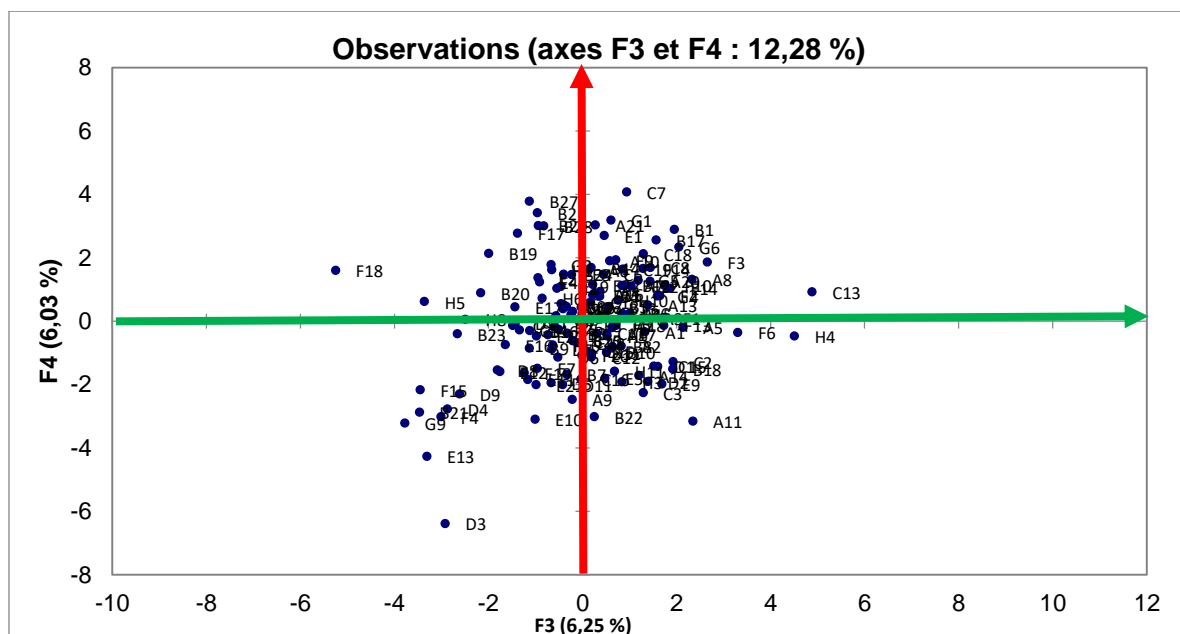


Figure : Graphique des individus dans le plan 2 formé des axes 3 et 4 (18.31 % de la variabilité expliquée) (ExcelStat).
 142 exploitations représentées dans ce plan. Axe rouge : axe 3 ; Axe vert : axe 4. Légende des exploitations sous le tableau 12.

Annexe XIV : Tableau des corrélations entre variables étudiées (actives et illustratives) les axes des plans 1 (F1 et F2) et 2 (F3 et F4) (ExcelStat). Résultats de l'ACP, test de corrélation de Kendall, avec le coefficient de corrélation τ (tau). Les variables actives qui contribuent le plus à la construction d'un axe ont leur coefficient de corrélation avec cet axe en gras. Légende des variables actives en Annexe XIII.

Variables	F1	F2	F3	F4
Conc	0,818	0,052	0,200	0,091
Ens	0,216	0,424	-0,036	-0,498
Htot	-0,554	-0,025	0,450	0,135
Hpat	-0,253	-0,217	0,086	0,549
Hcons	-0,350	0,168	0,405	-0,199
Ppu	-0,258	-0,293	-0,334	-0,071
Cér	0,623	-0,044	0,182	0,131
Tour	0,564	0,185	-0,238	-0,007
Copr	0,494	0,204	0,143	0,248
Acom	0,439	0,201	-0,331	0,271
PV	0,356	0,092	-0,051	-0,364
PVUGB	0,574	-0,222	-0,277	0,038
ConcPV	0,563	0,293	0,378	-0,210
ConcVia	0,598	0,278	0,433	-0,011
Pcar	0,555	-0,231	-0,284	0,186
Aaba	0,051	0,314	0,013	0,124
IVV	-0,019	-0,096	0,099	0,025
Mort	-0,032	-0,077	-0,213	-0,385
Pnum	-0,068	-0,029	0,251	0,339
GMQ	0,609	-0,138	-0,080	0,141
Char	0,010	-0,094	-0,034	-0,400
Chtr	0,068	0,503	-0,012	-0,291
SFP	-0,235	0,878	-0,153	0,173
Cult	0,232	-0,877	0,153	-0,172
mSFP	0,335	0,276	-0,033	-0,530
STH	-0,185	-0,011	0,082	0,368
PrBV	-0,198	0,881	-0,193	0,132
EBE	-0,247	0,137	0,498	-0,018
EBEtr	0,186	-0,111	0,329	-0,302
RDtr	0,097	0,048	0,453	0,104
OpTo	0,491	0,156	0,097	-0,039
OpBV	0,524	-0,101	-0,316	0,135
PrBV	-0,198	0,881	-0,193	0,132
Fr	0,341	-0,247	-0,031	-0,037
CoAl	0,786	-0,024	-0,065	0,152
CoOp	0,467	0,207	0,351	0,113
Coco	0,686	0,192	0,150	0,177
ECPC actuel	-0,502	-0,391	-0,259	0,041
ECEC Actuel	-0,478	-0,403	-0,209	0,169
ECPT	0,528	-0,286	-0,569	0,035
ECET	0,578	-0,256	-0,524	0,071
PPC actuelle ration	0,849	0,188	-0,110	-0,056
PEC actuelle ration	0,840	0,300	-0,123	-0,240

Pour un axe donné, seules ont été retenues dans ce travail, les variables avec un coefficient de corrélation τ en gras.

Annexe XV : Tableau des corrélations entre les variables actives étudiées et les variables illustratives (indicateurs d'efficacité alimentaire) (ExcelStat). Résultats de l'ACP, test de corrélation de Kendall, avec le coefficient de corrélation τ (tau). Seuls les coefficients de corrélations significativement différents de 0 ont été retenus dans ce tableau. Légende des variables actives en Annexe XIII.

Variables illustratives	Corrélations les plus fortes		Corrélations moyennes		Corrélations les plus faibles	
	Positives (T > 0.5 ou proche de 0.5)	Négatives (T < -0.5 ou proche de -0.5)	Positives (T entre 0.3 et 0.5)	Négatives (T entre -0.5 et -0.3)	Positives (T entre 0 et 0.3)	Négatives (8 entre -0.3 et 0)
ECPC actuelle		- Conc - ConcPV - ConcVia	- Ppu	- Cér - Tour - Cult - CoCo - CoAl	- Htot - Hpat - mSFP	- Ens, Copr Acom - PV, GMQ - Char, STH RDtr - OpTo, OpBV, PrBV, Fr, CoOp
ECEC actuelle		- Ens - ConcPV - ConcVia - Cult	- Ppu	- Conc	- Htot - Hpat - SFP - mSFP	- Cér, Tour Copr - PV, Aaba - Char, Chtr STH - EBE, EBETr OpTo, PrBV - CoAl, CoOp CoCo
ECPT		- Htot - Hcons	- Tour - Acom - PVUGB - Pcar - GMQ		- Conc - Ppu - Cér - Copr - Cult - Fr - OpBV - CoAl - CoCo	- Mort - Chtr - SFP - EBE - PrBV
ECET	- PVUGB - Pcar	- Htot - Hcons	- Cér - Tour - Acom - GMQ		- Copr - PV - Cult - Fr - OpBV - CoAl - CoCo	- Mort - SFP - PrBV - EBE
PPC actuelle ration	- Conc - Cér - Tour - ConcPV - ConcVia - CoAl - CoCo	- Htot	- Ens - Acom - GMQ - mSFP	- Hcons	- Copr - PV - PVUGB - Pcar - Chtr - RDtr - OpTo - Fr	- Hpat - Ppu - STH
PEC actuelle ration	- Conc - Ens - Cér - ConcPV - ConcVia - Msfp - CoCo	- Htot	- Tour - Copr - GMQ - OpTo - CoAl - CoOp	- Ppu	- Acom - PV - PVUGB - PVcar - Chtr - RDtr - Fr	- Hpat - Hcons - STH

Annexe XVI : Sorties des analyses de variance à 1 facteur et des comparaisons de moyennes (test de Student) au risque d'erreur standard de 5 % : Différences relatives d'ECPC lors d'une meilleure valorisation des aliments végétaux ou produits animaux en alimentation humaine (extraits des sorties de RCommander).

- Légende des 8 systèmes bovins viande étudiés, commune à l'ensemble des tests statistiques (analyses de variance à 1 facteur et comparaisons de moyennes par test de Student, au risque d'erreur 5 %)

Système	Naisseur légers du massif Central	Naisseur lourds du Massif Central	Naisseur-engraisseur de JB du Massif Central	Naisseur légers des Pays de Loire	Naisseur-engraisseur de JB et bœufs des Pays de Loire	Naisseur du Grand Est	Naisseur-engraisseur de JB du Grand Est	Engraisseur de JB (tous bassins)
Code	naiss léger mc	naiss lourd mc	naiss eng mc	naiss léger pdl	naiss eng jb pdl	naiss ge	naiss eng ge	engrais jb

* : Probabilité critique < 5 % (risque d'erreur standard choisi).

- **Différence relative d'ECPC lors d'une meilleure valorisation des aliments végétaux en alimentation humaine : $ECPC \llcorner \text{Actuel} \times \text{Total consommé} \llcorner - ECPC \llcorner \text{Potentiel} \times \text{Total consommé} \llcorner$**
 $ECPC \llcorner \text{Actuel} \times \text{Total consommé} \llcorner$

Entre parenthèses, sont renseignées les scénarios d'étude pour lesquels les ECPC ont été déterminées. Libellé de cette variable expliquée dans la suite de cette annexe : « dECPC 1 ».

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur dECPC1 : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : dECPC 1, 142 individus, risque d'erreur α de 5 %).
Ho : Pas d'effet du système sur dECPC 1.

```

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
systeme      7  0.3331  0.04758    3.421 0.00214 *
Residuals  134  1.8638  0.01391

```

⇒ Ho rejetée : effet du système sur dECPC 1 au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes de dECPC 1 entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas de différence de dECPC 1 selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng ge - engrais jb == 0	-0.039611	0.053008	-0.747	0.99510
naiss eng jb pdl - engrais jb == 0	-0.049451	0.043895	-1.127	0.94816
naiss eng mc - engrais jb == 0	-0.099378	0.044682	-2.224	0.33754
naiss ge - engrais jb == 0	-0.070565	0.044682	-1.579	0.75599
naiss leger mc - engrais jb == 0	-0.164877	0.043895	-3.756	0.00605 *
naiss leger pdl - engrais jb == 0	-0.079581	0.049229	-1.617	0.73361
naiss lourd mc - engrais jb == 0	-0.134468	0.041570	-3.235	0.03104 *
naiss eng jb pdl - naiss eng ge == 0	-0.009839	0.046987	-0.209	1.00000
naiss eng mc - naiss eng ge == 0	-0.059767	0.047723	-1.252	0.91148
naiss ge - naiss eng ge == 0	-0.030954	0.047723	-0.649	0.99798
naiss leger mc - naiss eng ge == 0	-0.125266	0.046987	-2.666	0.13858
naiss leger pdl - naiss eng ge == 0	-0.039970	0.052005	-0.769	0.99418
naiss lourd mc - naiss eng ge == 0	-0.094857	0.044822	-2.116	0.40240
naiss eng mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.049928	0.037341	-1.337	0.87951
naiss ge - naiss eng jb pdl == 0	-0.021114	0.037341	-0.565	0.99917
naiss leger mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.115426	0.036396	-3.171	0.03737 *
naiss leger pdl - naiss eng jb pdl == 0	-0.030130	0.042678	-0.706	0.99656
naiss lourd mc - naiss eng jb pdl == 0	-0.085017	0.033555	-2.534	0.18557
naiss ge - naiss eng mc == 0	0.028813	0.038263	0.753	0.99486
naiss leger mc - naiss eng mc == 0	-0.065499	0.037341	-1.754	0.64475
naiss leger pdl - naiss eng mc == 0	0.019797	0.043487	0.455	0.99980
naiss lourd mc - naiss eng mc == 0	-0.035090	0.034578	-1.015	0.97042
naiss leger mc - naiss ge == 0	-0.094312	0.037341	-2.526	0.18891
naiss leger pdl - naiss ge == 0	-0.009016	0.043487	-0.207	1.00000
naiss lourd mc - naiss ge == 0	-0.063903	0.034578	-1.848	0.58180
naiss leger pdl - naiss leger mc == 0	0.085296	0.042678	1.999	0.47913
naiss lourd mc - naiss leger mc == 0	0.030409	0.033555	0.906	0.98443
naiss lourd mc - naiss leger pdl == 0	-0.054887	0.040283	-1.363	0.86862

- ⇒ Ho rejetée : différences de dECPC 1 selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).

- **Différence relative d'ECPC lors d'une meilleure valorisation des produits animaux en alimentation humaine : ECPC « Actuel x Total consommé » - ECPC « Actuel x Total consommable »**

ECPC « Actuel x Total consommé »

Entre parenthèses, sont renseignées les scénarios d'étude pour lesquels les ECPC ont été déterminées.
Libellé de cette variable expliquée dans la suite de cette annexe : « dECPC 2 ».

- Etude de l'effet du système bovin viande (= facteur) sur dECPC2 : Analyse de variance à 1 facteur (variable expliquée : dECPC 2, 142 individus, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas d'effet du système sur dECPC 2.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
systeme	7	0.004786	0.0006837	61.52	<2e-16 *
Residuals	134	0.001489	0.0000111		

⇒ Ho rejetée : effet du système sur dECPC 2 au risque d'erreur de 5 %.

- Comparaison de moyennes de dECPC 2 entre systèmes (142 individus, 8 systèmes, risque d'erreur α de 5 %).

Ho : Pas de différence de dECPC 2 selon les systèmes bovins viande.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
naiss eng ge - engrais jb == 0	0.0130076	0.0014983	8.681	< 0.001 *
naiss eng jb pdl - engrais jb == 0	0.0121018	0.0012407	9.754	< 0.001 *
naiss eng mc - engrais jb == 0	0.0152014	0.0012630	12.036	< 0.001 *
naiss ge - engrais jb == 0	0.0192461	0.0012630	15.239	< 0.001 *
naiss léger mc - engrais jb == 0	0.0206361	0.0012407	16.632	< 0.001 *
naiss léger pdl - engrais jb == 0	0.0201197	0.0013915	14.459	< 0.001 *
naiss lourd mc - engrais jb == 0	0.0209150	0.0011750	17.800	< 0.001 *
naiss eng jb pdl - naiss eng ge == 0	-0.0009058	0.0013281	-0.682	0.99723
naiss eng mc - naiss eng ge == 0	0.0021938	0.0013489	1.626	0.72777
naiss ge - naiss eng ge == 0	0.0062385	0.0013489	4.625	< 0.001 *
naiss léger mc - naiss eng ge == 0	0.0076286	0.0013281	5.744	< 0.001 *
naiss léger pdl - naiss eng ge == 0	0.0071121	0.0014700	4.838	< 0.001 *
naiss lourd mc - naiss eng ge == 0	0.0079074	0.0012669	6.241	< 0.001 *
naiss eng mc - naiss eng jb pdl == 0	0.0030996	0.0010555	2.937	0.07101 *
naiss ge - naiss eng jb pdl == 0	0.0071443	0.0010555	6.769	< 0.001 *
naiss léger mc - naiss eng jb pdl == 0	0.0085343	0.0010288	8.296	< 0.001 *
naiss léger pdl - naiss eng jb pdl == 0	0.0080179	0.0012063	6.647	< 0.001 *
naiss lourd mc - naiss eng jb pdl == 0	0.0088132	0.0009485	9.292	< 0.001 *
naiss ge - naiss eng mc == 0	0.0040447	0.0010815	3.740	0.00625
naiss léger mc - naiss eng mc == 0	0.0054348	0.0010555	5.149	< 0.001 *
naiss léger pdl - naiss eng mc == 0	0.0049184	0.0012292	4.001	0.00249 *
naiss lourd mc - naiss eng mc == 0	0.0057136	0.0009774	5.846	< 0.001 *
naiss léger mc - naiss ge == 0	0.0013901	0.0010555	1.317	0.88769
naiss léger pdl - naiss ge == 0	0.0008736	0.0012292	0.711	0.99641
naiss lourd mc - naiss ge == 0	0.0016689	0.0009774	1.708	0.67551
naiss léger pdl - naiss léger mc == 0	-0.0005164	0.0012063	-0.428	0.99987
naiss lourd mc - naiss léger mc == 0	0.0002789	0.0009485	0.294	0.99999
naiss lourd mc - naiss léger pdl == 0	0.0007953	0.0011386	0.698	0.99678

⇒ Ho rejetée : différences de dECPC 2 selon les systèmes, significatives au risque d'erreur de 5 % (détails des comparaisons de moyennes en partie résultats).



Diplôme : **Master**

Spécialité : **Productions animales**

Spécialisation / option : **Sciences de l'Animal pour l'Élevage de Demain (SAED)**

Enseignant référent : **Anne-Lise JACQUOT**

Auteur : **Augustin GRAVIER**

Date de naissance* : **26/05/1993**

Nb pages : **20**

Annexe(s) : **16 (29 pages)**

Année de soutenance : **2016-2017**

Organisme d'accueil : **INRA**

Adresse : **Route de Thieux**

63122 Saint Genès-Champanelle

Maîtres de stage : **René BAUMONT, Pauline MADRANGE**

Titre français : **La contribution nette de l'élevage bovin viande français à l'alimentation de l'être humain.**

Titre anglais : **The net contribution of the french beef cattle breeding to human food.**

Résumé : Dans un contexte de croissance démographique, les bovins viande sont jugés en compétition avec l'alimentation humaine. Ils sont pourtant capables de convertir des fourrages et coproduits non consommables par l'Homme en nutriments comestibles. L'objectif de cette étude a été d'évaluer la contribution nette de systèmes bovins viande français à l'alimentation humaine en ne prenant en compte que les nutriments réellement consommables par l'Homme (indicateurs ECPC pour les protéines et ECEC pour l'énergie). Les systèmes sont soit producteurs nets de nutriments comestibles pour l'Homme soit consommateur net, en compétition alimentaire avec l'Homme. Cette étude s'est basée sur 144 élevages bovins viande, issus de 3 bassins (Massif Central, Pays de Loire, Grand Est) et répartis en 8 systèmes. Les 4 systèmes naisseurs herbagers sont des producteurs nets de protéines. Ce constat est à nuancer car ils produisent peu de bovins directement pour la consommation humaine. Les naisseurs-engraisseurs du Massif Central et des Pays de Loire, gros consommateurs de concentrés, sont en compétition protéique avec l'Homme. Au contraire, les engraisseurs et naisseurs-engraisseurs du Grand Est, consommateurs de pulpes et drèches, sont producteurs nets de protéines. L'intensification de la production explique les variations d'ECPC dans certains systèmes : les élevages qui apportent le plus de protéines à l'alimentation humaine sont extensifs, herbagers et économes en concentrés. Cette étude pourrait amener à de nouveaux travaux, afin de mieux évaluer la contribution alimentaire des systèmes naisseurs.

Abstract : In a population increase context, beef cattle are considered in competition with human food. However, they are able to convert human inedible fodders and by-products in edible nutrients. The purpose of this study is to assess the net contribution of french beef cattle systems to human food in taking human edible nutrients into account only (ratios ECPC for proteins and ECEC for energy nutrients). Beef cattle systems are either net human edible nutrients producers or net consumers, and therefore in competition with human food. This study was based on 144 beef cattle breedings from 3 areas (Massif Central Pays de Loire, Grand Est) which were shared out among 8 systems. The 4 grass-based breeder systems are net proteins producers. This statement must be qualified since they generate few beef cattle for human consumption directly. The breeder-fattener systems from Massif Central and Pays de Loire, which consume lots of cereals and cake meals, are in competition with human food for proteins. On contrary, the fattener system and breeder-fattener system from Grand Est, which consume sugar beet pulse and wheatfeed, are net proteins producers. The intensification of beef cattle production could account for variations in ECPC in some systems : breedings which provide the more proteins to human food, are extensive, grass based with less cereals. This study could bring about new research works in order to assess better the net contribution to breeder systems.

Mots-clés : bovins viande, systèmes, consommables, compétition alimentaire, producteur net, consommateur net, herbager, concentrés, coproduits, intensification.

Key Words : beef cattle, systems, edible, food competition, net producer, net consumer, grass-based, cereals, by-products, intensification

