



HAL
open science

JB-Box®: le nouvel outil web de simulation des performances des jeunes bovins en engraissement

Alexis Férard, Gildas Cabon, Florence Garcia-Launay, Didier Bastien, Charles Guihard, Pierre-Vincent Protin, Jacques Agabriel

► To cite this version:

Alexis Férard, Gildas Cabon, Florence Garcia-Launay, Didier Bastien, Charles Guihard, et al.. JB-Box®: le nouvel outil web de simulation des performances des jeunes bovins en engraissement. *Innovations Agronomiques*, 2014, 34, pp.271-282. 10.17180/9gth-x774 . hal-04690219

HAL Id: hal-04690219

<https://hal.inrae.fr/hal-04690219v1>

Submitted on 6 Sep 2024

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

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



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

JB-Box® : le nouvel outil web de simulation des performances des jeunes bovins en engraissement

Férard A.¹, Cabon G.¹, Garcia-Launay F.², Bastien D.³, Guihard C.³, Protin P.V.¹, Agabriel J.²

¹ ARVALIS - Institut du végétal, Station expérimentale de la Jaillière, 44370 La Chapelle Saint-Sauveur

² INRA, UMR1213 Herbivores, Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

³ Institut de l'Élevage - Monvoisin – BP 85225 – 35652 Le Rheu Cedex

Correspondance : a.ferard@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

Afin d'assurer la rentabilité de leurs ateliers d'engraissement, les éleveurs ont besoin de connaître l'impact d'une ration sur les performances des jeunes bovins et sur les caractéristiques des carcasses produites. Le projet de recherche BEEFBOX se base sur la mise en commun de l'expertise, des données et des connaissances expérimentales produites dans le domaine de l'engraissement des jeunes bovins par trois instituts (ARVALIS – Institut du végétal, l'Institut de l'Élevage et l'INRA), pour concevoir un outil de conseil aux éleveurs : JB-Box®. La construction du cœur de l'outil de conseil, le simulateur JB-Box®, a nécessité l'élaboration d'une base de données des essais de production de jeunes bovins, puis l'ajustement d'un modèle d'ingestion et son couplage à un modèle mécaniste de croissance. L'outil simule à partir d'une ration et des caractéristiques d'un animal moyen, l'évolution quotidienne du poids vif, de la composition corporelle et du poids de carcasse froide (PCF). Pour la race charolaise (n=138 lots), le simulateur fournit une prédiction du PCF avec une erreur moyenne de prédiction (RMSE) de 3,2 kg et de 12,6 kg pour le poids vif d'abattage. Pour cette race, la capacité de prédiction de la durée d'engraissement est de 4,9 j sur 250 j de durée moyenne et celle du bilan de l'ingestion totale de 156 kg sur les 2274 kg de moyenne observée. L'outil Internet baptisé JB-Box®, utilisable par tous, intègre le simulateur via des interfaces simples et conviviales.

Mots-clés : engraissement, bovins, simulateur, dynamique, abattage, croissance, ingestion, outil, décision, alimentation, économie, rentabilité, marge nette, coût alimentaire

Abstract: JB - Box ®: the new web tool for simulation of the performance of young cattle in feedlots

To ensure the profitability of beef finishing, farmers need to simulate the impact of a diet on performances of young bulls (YB) and carcass characteristics. The BEEFBOX research project was based on the integration of data and knowledge from experiments and the expertise of three institutes to develop an advisory tool: JB-Box®. The setting up of the tool core, the JB-Box® simulator, required the establishment of a database of YB production experiments, then the fitting of a model of intake and the linkage with a mechanistic growth model. The tool simulates the daily changes of body weight, body composition and cold carcass weight (CCW) for a diet and group characteristics. For charolais YB (n= 138 groups), the simulator provided a prediction of CCW with a mean prediction error (RMSE) of 3.2 kg and 12.6 kg for live body weight at slaughter. With this breed, the predictive ability of the finishing period is 4.9 days on an average duration of 250 days and the error on global intake: 156 kg to 2274 kg observed. The free online tool, named JB-Box®, incorporates the simulator with simple and friendly Graphic User Interfaces.

Keywords: fattening cattle, young bull, simulator, dynamic, slaughter, growth, intake, tool, food, economy, profitability, net margin, feed cost

Introduction

Troisième productrice de viande de jeunes bovins (JB) dans l'UE, la filière française est sensible aux prix des matières premières et aux cours de la viande bovine. La conduite alimentaire de ces animaux repose en grande partie sur l'utilisation de matières premières riches en énergie afin d'exprimer le potentiel de croissance de ces jeunes animaux. Dans ce contexte, la recherche-développement doit fournir aux producteurs de jeunes bovins des outils capables de simuler l'impact des pratiques d'élevage, et en particulier des rations, sur les performances zootechniques et les caractéristiques des carcasses, mais aussi sur les performances économiques de cette activité. A l'usage des éleveurs et de leurs conseillers, des travaux antérieurs menés par ARVALIS, l'Institut de l'Élevage et les Chambres d'Agriculture Pays-de-la-Loire et Bretagne avaient déjà abouti à l'élaboration de fiches de références sur les itinéraires techniques de JB en 2008. Par ailleurs, le logiciel de rationnement INRAtion (INRA, 1992-2008) propose une simulation statique de la performance moyenne de croissance pour un apport alimentaire donné. Ces outils n'apportent donc que des réponses partielles aux utilisateurs et ne permettent pas de simuler les dynamiques d'ingestion et de croissance qui déterminent les résultats d'abattage et économiques d'un lot de JB dans un contexte spécifique de conduite ou d'alimentation dans un élevage.

Pour répondre à cette attente, ARVALIS, l'INRA et l'Institut de l'Élevage ont mis en commun leur expertise, basée sur leurs essais de finition sur JB menés depuis 1985 (plus de 400 lots d'animaux) et sur le modèle mécaniste de la croissance MECSIC développé à l'INRA (Hoch et Agabriel, 2004a). L'objectif du projet coopératif BEEFBOX est de développer un outil informatique d'aide à la décision pour la finition de JB, capable de simuler les effets dynamiques de rations variées sur la composition de l'animal et de sa carcasse selon les caractéristiques des animaux (race, poids en début d'engraissement...). Il simule conjointement l'ingestion d'aliments et les dépôts d'un animal moyen d'un lot, et propose une analyse technique conjointe de l'atelier qui permet d'en approcher la rentabilité économique.

L'objet de cet article est de présenter la construction et l'évaluation du simulateur JB-Box® qui est incorporé dans l'application WEB informatique.

1. Matériels et méthodes

1.1 Descriptif général du simulateur inclus dans JB-Box®

Le simulateur JB-Box® est constitué de trois sous-modèles qui interagissent à pas de temps journalier : le module d'ingestion, le module de croissance MECSIC et le module d'abattage (Garcia-Launay et al., 2012 ; Rigot et al., 2009) (Figure 1). Le module d'ingestion calcule la quantité de matière sèche ingérée (QMSI) par animal et par jour en fonction des caractéristiques des animaux (poids vif, race,...) et des rations (cellulose brute). Il estime l'énergie métabolisable ingérée (EMI) par animal et par jour qui est ensuite utilisée comme entrée du module de croissance MECSIC. L'EMI résulte du produit de la QMSI avec la concentration en énergie métabolisable de la ration, calculée selon les systèmes INRA (2007).

Le module de croissance MECSIC est un modèle dynamique à compartiments qui simule les flux de synthèse et de dégradation pour quatre variables d'état que sont les protéines et les lipides dans la carcasse et dans le 5^{ème} quartier. Des équations d'allométrie permettent ensuite de calculer à partir de cette composition chimique les quantités de muscles et de dépôts adipeux dans la carcasse (Hoch et al., 2006), de même que le poids vif vide, puis le contenu digestif et enfin le poids vif.

Le module d'abattage calcule les quantités de viande nette commercialisable, de différents dépôts adipeux (rognon, émoussage,...) et le poids de certaines pièces bouchères (filet, macreuse,...) à partir des caractéristiques de la carcasse et du 5^{ème} quartier.

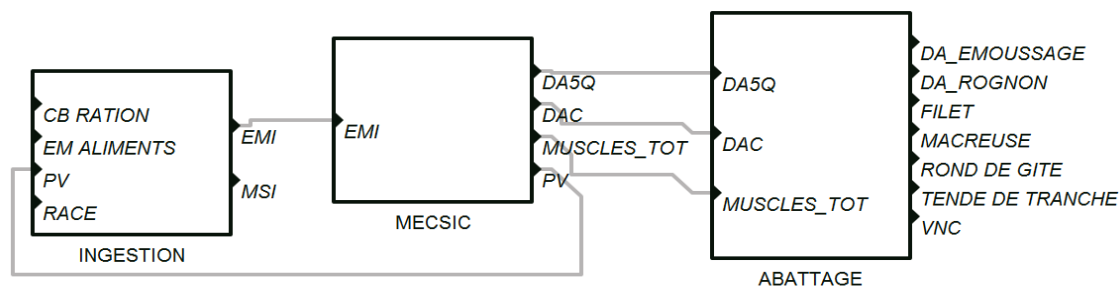


Figure 1. Schéma global du simulateur JB-Box® (formalisme graphique d'après Quesnel et al. 2009).

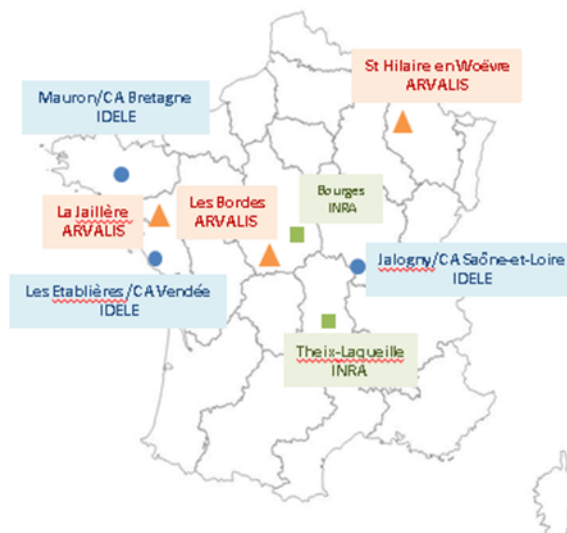
1.2 Données et modèles utilisés

1.2.1 Bases de données des résultats d'essais

Les essais de finition sur jeunes bovins menés depuis 1985 dans huit stations expérimentales (Figure 2) ont permis d'étudier les effets de différentes rations sur les performances d'engraissement des jeunes bovins. Les observations ont été rassemblées dans la BDD JB-Box-BD®. Dans cette BDD commune - ARVALIS, Institut de l'Élevage et INRA, ce sont au total 127 essais qui ont été conduits, soit 447 bandes de jeunes bovins (= lot ayant reçu la même ration), et plus de 7 000 animaux (dont 2 600 aux données individuelles complètes) et plus de 1 million de données saisies. Cette BDD disponible sous Access a été déposée à l'Agence de protection des programmes.

Les méta-analyses ont été réalisées à partir des données de résultats d'essais d'engraissement provenant de trois bases de données : 1°) la base de données JB-Box-BD® qui contient les valeurs des aliments et des rations, les données d'ingestion et de poids vif par période (en général 28 jours), ainsi que les caractéristiques d'abattage des lots ; 2°) la base de données de l'abattoir expérimental INRA de Theix (base INRA) rassemble les résultats de composition chimique et tissulaire à l'abattage pour 65 expérimentations ; 3°) la base de données de découpe de l'Institut de l'Élevage (base IDELE) rassemble les résultats de quatre essais en race Charolaise.

Figure 2. Les stations expérimentales d'ARVALIS, de l'Institut de l'Élevage et de l'INRA mettant en place des essais sur l'engraissement des jeunes bovins



1.2.2 Développement d'un modèle d'ingestion basé sur les résultats d'essais

Les variables contenues dans la BDD JB-Box-BD® ont tout d'abord été analysées graphiquement en fonction de la variable à prédire, la matière sèche ingérée quotidienne. L'équation de prédiction de l'ingestion a été établie par méta-analyse (Sauvant et al., 2005), avec les données d'ingestion moyennes par lot et par période de JB-Box-BD® avec SAS (STAT/SAS v9.22, 2010) au moyen d'un

modèle mixte avec effet aléatoire « expérimentation » (lot d'animaux). Une structure de matrice de covariance de type auto-régressive d'ordre 1 a permis la prise en compte des corrélations intra-animal décroissantes et des variances différentes au cours des pesées successives d'une expérimentation. Les données de QMSI ont été pondérées par le nombre d'animaux contenus dans chaque lot. La correspondance avec les équations INRA 2007 a été recherchée en ajustant un premier modèle d'allométrie entre la matière sèche ingérée et le poids vif : $QMSI = a \cdot PV^b$. Cette nouvelle variable PV^b a été utilisée avec les variables disponibles dans JB-Box-BD® caractérisant les lots (poids, âge), la ration et leurs interactions pour ajuster le meilleur modèle linéaire.

La méta-analyse a révélé des profils d'ingestion différents en fonction du type de race – allaitante ou laitière et le manque de données pour les diverses races laitières a conduit à ajuster un modèle par type de race. Une attention particulière a été portée sur la détection et l'analyse des valeurs aberrantes et influentes avec l'option INFLUENCE de SAS (Viechtbauer et Cheung, 2010). Enfin, les hypothèses de normalité, d'homoscédasticité et indépendance des résidus ont été vérifiées par l'analyse des résultats de la PROC UNIVARIATE. Pour évaluer ce sous-modèle d'ingestion, une procédure de validation croisée (McMeniman et al., 2010 ; Cassell et al., 2007) a été réalisée sous SAS pour obtenir une estimation de l'erreur de prédiction avec la racine de la moyenne des carrés des écarts de prédiction (RMSEP). Les résultats ont été exploités pour étudier les biais de prédiction (Gauch et al., 2003).

1.2.3 Validation des paramètres du modèle dynamique de croissance MECSIC

Le simulateur JB-Box® est implémenté dans un logiciel spécialisé : Vensim® (Vensim 5.1b version DSS, 2011) retenu comme support du prototype du fait des possibilités de calage de paramètres, et du couplage simple d'entrées/sorties avec le tableur Excel. Un couplage des sous-modèles selon la Figure 1 a été réalisé (Férard et al., 2012b). Le sous-modèle de croissance MECSIC a été complété par un module de prédiction du contenu digestif basé sur les équations d'allométrie INRA 2007 ajustées par race sur la masse délipidée des animaux. Ainsi, le simulateur prédit poids vifs et poids carcasses à chaque pas de temps ce qui permet l'ajustement des paramètres sensibles par comparaison entre données simulées et mesurées.

Une première étape d'analyse de sensibilité du simulateur (sous-modèle d'ingestion + croissance MECSIC) a permis de confirmer les paramètres hautement sensibles du sous-modèle MECSIC précédemment identifiés (Hoch et Agabriel, 2004b) et de lancer la procédure d'ajustement de ces paramètres avec la fonction d'optimisation de Vensim. Les plages de variations de chaque coefficient ont été préalablement définies dans les limites biologiques. En ajustant les poids vifs moyens par race, à partir des données observées d'ingestion, une première étape de calibration du coefficient d'efficacité de transformation de l'énergie métabolisable ingérée (aMW) a été réalisée. Ce paramètre aMW fixé, le poids de carcasse et le rendement commercial ont été ajustés par répartition de la masse dans les différents compartiments. Cela a nécessité une nouvelle calibration des paramètres de MECSIC ; alphaC et alphaNC, caractérisant respectivement les vitesses de synthèse des protéines de la carcasse et du 5^{ème} quartier. La stabilité des paramètres ajustés dans le simulateur complet a été vérifiée. Enfin, la variabilité inter-lots d'animaux du coefficient aMW a été appréciée et pour mieux l'expliquer un coefficient supplémentaire de modulation de l'efficacité de l'énergie (cMEU) a été nécessaire (Férard et al., 2012a).

1.2.4 Élaboration et évaluation d'un modèle d'abattage

Les équations de prédiction des quantités de viande nette commercialisable (VNC), de gras d'émoussage, de gras de rognons, de filet, de macreuse, de tendre de tranche et de rond de gîte ont été établies par méta-analyse avec la base INRA (Charolais, Limousin, Salers, Blond d'Aquitaine, Aubrac, Prim'Holstein, Angus) et la base IDELE (Charolais). Une analyse graphique des relations intra-expériences entre les variables à estimer et les variables explicatives a été réalisée de façon à choisir la variable explicative continue et la forme de la relation (linéaire ou allométrique). Les équations ont été

ajustées avec la PROC MIXED de SAS en considérant l'expérimentation comme facteur aléatoire sur l'ordonnée à l'origine et sur la pente et en pondérant les observations par le nombre d'animaux dans chaque lot.

Pour chaque modèle ajusté, la normalité des résidus a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilks et une recherche des valeurs aberrantes et influentes a été réalisée (Viechtbauer et Cheung, 2010). Les équations de gras d'émoissage et de gras de rognons ont fait l'objet d'une validation croisée régulière avec sept sous-échantillons de la base de données. Le test d'ordonnée à l'origine nulle et de pente = 1 a été réalisé pour la régression Observés=f(Prédits). Le carré moyen de l'erreur de prédiction a été décomposé en biais d'ordonnée à l'origine, de rotation et de dispersion selon Gauch et al. (2003).

1.3 Évaluation du simulateur complet

A partir des caractéristiques des animaux en début d'engraissement et de la ration des différents lots d'animaux JB-Box-BD®, le simulateur couplant les trois modèles cités plus haut fournit des prédictions des différentes variables mesurées par ailleurs en essais. Après ajustement du coefficient cMEU par lot, la simulation de toutes les bandes a été faite dans une procédure de validation interne pour comparer les valeurs d'abattage observées et prédites des poids de carcasse froide (PCF), poids vif, rendement carcasse, durée d'engraissement, bilan de consommation des aliments. Les écarts de prédiction sur le poids de carcasse ont été calculés à même durée d'engraissement. Les écarts pour les autres variables ont été calculés avec $PCF_{obs} = PCF_{prédit}$. Sur ces variables d'intérêt professionnel, le R^2 et la racine de la moyenne des carrés des écarts (RMSE) ont ainsi été calculés pour la race charolaise.

1.4 Attentes des futurs utilisateurs de l'outil et développement des interfaces

Les équations et les jeux de paramètres des modèles du simulateur prototype ont été repris dans l'écriture d'un moteur de calcul codé en pascal : MJBBBox. Un cahier des charges traduit en termes informatiques les spécifications fonctionnelles directement destinées au développement informatique de l'outil web. Ce document décrit les possibilités d'interrogation de MJBBBox. Le prototype fonctionne en se basant sur une liste de « données d'entrée » et restitue, pour chaque simulation, un « tableau de sortie » donnant pour chaque jour (500 jours) les valeurs de 30 paramètres qui concernent les caractéristiques des animaux et des rations ingérées. Ces paramètres permettent le calcul de nombreuses données de sortie couramment utilisées dans le suivi des performances des ateliers d'engraissement.

Les premiers résultats de simulations disponibles à partir du prototype de JB-Box® ont été utilisés comme support d'entretiens réalisés auprès des utilisateurs potentiels afin de préciser leurs attentes. Vingt-sept entretiens semi-directifs ont été conduits dans les différents bassins de production de viande auprès des acteurs de la filière : huit techniciens de Chambre d'Agriculture, sept techniciens de Bovins Croissance, neuf techniciens d'organisations de producteurs et deux agriculteurs représentants d'organismes de producteurs.

Les résultats de ces entretiens ont été synthétisés pour poursuivre la programmation de l'outil informatique final, qui a été réalisée en trois étapes : i) la programmation du moteur de calcul a été encodée en langage Pascal par les informaticiens d'ARVALIS sur la base du prototype, ii) les écrans d'interfaces d'entrée et de sortie ont été élaborés par l'équipe projet à partir des demandes issues des entretiens et en tenant compte des possibilités de calcul du prototype, iii) un cahier des charges a été écrit et soumis à appel d'offres pour la réalisation pratique de l'interface finale.

2. Résultats et discussions

2.1 Variabilité des observations de la BDD : représentativité par rapport au terrain

Les mesures en conditions contrôlées et les données recueillies sont très variées et portent sur :

- l'animal : race, pesées successives, pointage... ;

- la ration : consommations journalières, transition et engraissement, valeur des aliments ;
- la carcasse : poids, conformation, gras.

Les races représentées dans la BDD sont majoritairement des races à viande : Charolaise (202 bandes), Limousine (66 bandes) auxquelles s'ajoutent les animaux de race Blonde d'Aquitaine et les Salers qui sont moins représentées. Les races mixtes et laitières (Normande, Montbéliarde, Prim'Holstein) ont fait l'objet de quelques essais mais leur proportion au sein de la BDD n'est pas représentative de celle observée en élevage. Les grands types de ration, sèche, à base de fourrage ou sèche avec foin, sont caractérisés par leur pourcentage de concentrés qui varie d'environ 35% pour les rations fourrages à 80% pour les rations sèches.

2.2 Le simulateur JB-Box®

2.2.1 Prédiction de l'ingestion

L'ajustement du coefficient d'allométrie de l'équation reliant la QMSI au PV est de 0,59 pour toutes les races. Il n'est pas significativement différent de l'exposant 0,6 du poids qui détermine la capacité d'ingestion d'un animal à l'engrais dans les recommandations INRA 2007. Ce coefficient traduit une influence décroissante du poids sur l'ingestion du fait de l'augmentation de l'engraissement de l'animal.

Deux modèles d'ingestion ont été ajustés par type racial :

1) Races laitières (Prim'Holstein), mixtes (Normande et Montbéliarde) et croisées viande x laitières.
 $QMSI_{(kgMS/j)} = 0,22 * pv^{0,6} + 0,041 * cb - 0,645$; (ajustement Prim'Holstein)

2) Races à viande.
 $QMSI_{(kgMS/j)} = 0,240 * pv^{0,6} - 0,417 * cb + 0,020 * \hat{age} - 0,0006 * pv^{0,6} * \hat{age} + 0,011 * pv^{0,6} * cb - 2,018$; (race Charolaise)

Ce modèle intègre les effets « animal » et « ration » : les effets positifs du poids et de l'âge, un effet négatif de la fibrosité de la ration et une interaction positive poids-fibrosité délicate à interpréter. La sensibilité de l'ingestion à la composition de la ration apparaît modérée. Tout en ayant testé d'autres variables de qualité de la ration, seule la variable cellulose brute et son interaction avec le poids significatif en race à viande ont été retenues. En particulier, la composition en amidon, souvent citée par les engraisseurs, n'améliore pas la prédiction. La structure de notre base de données contient uniquement des rations d'engraissement, qui sont de niveau énergétique élevé et de fibrosité faible et peu variable. Cela peut expliquer ce résultat. Il est d'ailleurs en accord avec ceux obtenus par MacMeniman et al. (2010) sur bœufs en feedlots où l'impact de la composition de la ration sur son ingestion est non significatif.

Tableau 1. Prédiction du modèle d'ingestion en validation externe : R² et écart de la prédiction

Génotype	N lots	R ² (%)	RMSEP (kg)
Blond d'Aquitaine	19	40	0,83
Charolais	151	72	0,75
Croisé allaitant x laitier	9	90	0,46
Limousin	29	73	0,60
Prim'Holstein	19	87	0,70
Mixte (Normand/Montbéliard)	44	84	0,59

La capacité de prédiction du modèle d'ingestion (Tableau 1), évaluée par validation croisée, apparaît satisfaisante en races Charolaise, Limousine, races laitières et races mixtes. La précision est un peu plus faible pour les autres races. Nos résultats montrent néanmoins que les équations établies reproduisent bien la dynamique d'évolution de l'ingestion en engraissement, de la transition à la fin d'engraissement, sans biais particulier. Les valeurs de RMSEP obtenues en validation croisée sont

légèrement supérieures à celles obtenues par McMeniman et al. (2010), tout en restant du même ordre de grandeur. Leurs équations de prédiction visent néanmoins seulement à prédire l'ingestion moyenne et non pas son évolution au cours de l'engraissement.

La décomposition de l'erreur de prédiction ne montre pas de biais particulier mais indique majoritairement une forte dispersion résiduelle (plus de 95% sauf pour les races Salers et Blonde d'Aquitaine respectivement de 75% et 85%). Cela montre que la structure du modèle est satisfaisante mais que d'autres facteurs (non actuellement quantifiés ou identifiés) permettront de réduire à l'avenir ce qui apparaît encore comme des variations aléatoires.

Dans le simulateur actuel, le modèle de croissance régule le modèle d'ingestion par le poids. Pour améliorer la prédiction de l'ingestion quotidienne, on peut envisager d'utiliser d'autres variables d'intérêt comme la quantité de dépôts adipeux du tissu splanchnique. La difficulté de ce travail viendra de la disponibilité du jeu de données à mobiliser.

2.2.2 Prédiction de la croissance

La procédure d'ajustement des paramètres a permis de mettre en évidence une variabilité inter-lots d'animaux du coefficient de MECSIC (aMW) décrivant l'efficacité d'utilisation de l'énergie ingérée. Nous avons étudié l'évolution du coefficient aMW au cours des années d'essai en introduisant un coefficient de Modulation de l'Efficacité d'Utilisation de l'énergie ingérée (cMEU) (Férard et al., 2012a). Les valeurs ajustées de coefficients cMEU sont en moyenne de 0,99 avec un coefficient de variation de l'ordre de 30% (0,64 à 1,40). Un effet de l'année de réalisation de l'essai a été mesuré. Il traduit une meilleure efficacité alimentaire des bandes d'animaux « modernes ». L'année, seule variable explicative retenue, et permet d'expliquer 50% de la variabilité observée sur le coefficient cMEU avec un écart-type résiduel de 0,074. La diminution des valeurs ajustées entre 1985 et 2007 pourrait être expliquée par l'amélioration génétique vers des animaux plus efficaces à transformer les aliments ingérés. L'information génétique manque cependant pour valider cette hypothèse. L'amélioration au fil des années de l'ajustement des rations d'engraissement ainsi que l'amélioration des conditions d'élevage (ambiance du bâtiment, suivi sanitaire) pourraient aussi constituer des éléments importants expliquant cette évolution. L'analyse de sensibilité du simulateur aux variations du coefficient cMEU (fixées à +/-10 %) a permis d'estimer l'effet « année » sur les variables zootechniques (Tableau 2) pour un début d'engraissement à 350 kg vif.

Tableau 2. Estimation des écarts de performances de croissance induits par l'évolution du coefficient cMEU au cours des 25 dernières années

	"1987" (cMEU=1,1)	"1997" (cMEU=1)	"2007" (cMEU=0,9)
Poids de carc. à 230 j d'engr.	375	392	410
		+ 17 kg	+ 18 kg
Durée d'engr. jusqu'à 420 kg de carc.	307	273	243
		- 34 j	- 30 j

Le poids de carcasse à l'abattage est estimé avec une RMSE de 3,2 kg soit moins de 1% du PCF moyen prédit (Tableau 3). La durée d'engraissement nécessaire pour obtenir le poids de carcasse observé est prédite avec un R² de 0,98 et une RMSE de 4,9 j. Les autres variables d'abattage, poids vif et rendement commercial sont estimées respectivement avec des R² de 0,80 et 0,02 et des RMSE de 12,6 kg et 1,1%.

La capacité de prédiction du simulateur apparaît satisfaisante en race charolaise avec des erreurs de prédictions faibles (environ 2%) sur les variables PCF et durée d'engraissement. La seule variable qui

n'est pas bien prédite est le rendement carcasse, qui cumule les erreurs faites sur le poids de carcasse et le poids vif. Le simulateur reproduit néanmoins les rendements carcasse moyens de la race. La qualité de prédiction, ici obtenue après ajustement précis par lot du coefficient cMEU, sera moins bonne dans l'outil final et nécessitera le « réglage » de ce coefficient par l'utilisateur selon le potentiel des animaux dont il dispose. Des éléments permettant de positionner ce coefficient seront donc intégrés dans l'outil.

Tableau 3. Prédiction des principales variables du simulateur pour la race charolaise (N lots=138)

Variables	Moy. pred.	R ²	RMSE	RMSE/ Moy. pred. (%)
PV abattage (kg)	715,7	0,80	12,6	1,8
PCF (kg)	416,8	0,97	3,2	0,8
Rdt commercial (%)	58,0	0,02	1,1	1,9
Durée engr. (j)	249,5	0,98	4,9	2,0
Bilan ingestion (kg)	2274	0,82	156	6,8

L'évaluation du simulateur devra se compléter par une étude de la propagation de l'erreur avec une quantification de la part relative de l'erreur due à l'ingestion et de celle due au modèle de croissance. Cette étude permettra notamment de proposer des intervalles de confiance sur les valeurs prédites par le simulateur dans l'outil final. Développé dans la gamme des données disponibles, le simulateur qui associe modélisation empirique et mécaniste nécessite en effet une grande prudence quant à ses limites de validité.

2.2.3 Prédiction des caractéristiques d'abattage

Les quantités de gras de rognons et de gras d'émoissage sont estimées respectivement par équations linéaire et d'allométrie qui permettent d'expliquer 98 et 80% de la variabilité observée (Tableau 4). Les relations obtenues entre les valeurs prédites et observées par validation croisée de ces équations ne sont pas différentes de la première bissectrice.

Si la découpe à l'abattage est faite de manière anatomique, le poids des muscles totaux est la donnée dont on peut disposer (MTOT en kg base INRA) ; si elle est industrielle, on obtient la quantité de viande nette commercialisable (VNC base IDELE). Nous avons donc choisi d'ajuster l'équation de prédiction d'une seule variable dépendante avec comme facteur explicatif le type de découpe (anatomique ou industriel) et le poids de carcasse froide comme variable explicative continue. Les équations obtenues sont les suivantes :

$$\ln(\text{VNC}) = -0,38 + 1,01 \times \ln(\text{PCF}) \text{ et } \ln(\text{MTOT}) = -0,34 + 1,01 \times \ln(\text{PCF}) \text{ avec AdjR}^2=0,98 ; \text{ETR}=5,44$$

Par soustraction des deux équations, on obtient : $\text{VNC} = 1,04 \times \text{MTOT}$

Cette équation de prédiction de la quantité de Viande Nette Commercialisable (VNC) a été établie en race Charolaise uniquement, comme la prédiction des pièces bouchères à partir de la VNC (Tableau 4). Les poids des muscles sont alors prédits très correctement, moins précisément pour le filet, mais le nombre de données est limité.

Les équations de prédiction des quantités de gras de rognons et de gras d'émoissage présentent une précision satisfaisante traduite par les valeurs de AdjR² et d'écart-type résiduel. Les résultats de validation croisée confirment par ailleurs la justesse et la robustesse de ces équations. Les équations de prédiction du gras sous-cutané à partir de l'épaisseur de gras dorsal (12^{ème} côte) et du gras viscéral à partir des trois gras (rognons, pelvien, cœur) développées par McPhee et al. (2008) sur des bœufs présentent des performances de prédiction comparables, illustrant également la régulation de la composition corporelle et le lien étroit entre les différents dépôts de gras. La VNC apparaît comme un

bon prédicteur des différentes pièces bouchères. Les autres études qui visent à prédire le poids des pièces bouchères reposent plutôt sur des mesures à l'abattage réalisées par échographie, rayons X ou ultra-sons (Navajas et al., 2010). Les équations établies ici en race Charolaise permettent d'avoir une vision plus précise de la valorisation des différents morceaux de la carcasse. De nombreuses données sont encore nécessaires pour valider ces équations, prendre en compte différentes découpes et ajuster les paramètres pour toutes les autres races. Un élargissement du partenariat du projet à l'industrie de la viande pourrait ici apporter des développements intéressants avant toute utilisation pratique de cette partie du projet.

Tableau 4. Équations de prédiction des caractéristiques d'abattage, VNC = Viande Nette Commercialisable (kg)

Variable	Nexp	Nlots	Equation ¹	AdjR ²	Ecart-type résiduel (kg)
Gras rognons ² (kg)	31	177	= -1,12 + 0,37 x Gras5èmeQuartier	0,97	0,52
Gras d'émoussage (kg)	33	186	= [0,0013 x (GrasCarcasse+1) ^{1.90}]-1	0,80	1,70
Filet (kg)	4	23	= -0,076 + 0,012 x VNC	0,53	0,26
Rond de Gîte (kg)	4	23	= -0,080 + 0,040 x VNC	0,90	0,33
Macreuse ³ (kg)	4	23	= -1,73 + 0,020 x VNC	0,98	0,38
Tende de Tranche ³ (kg)	4	23	= 1,95 + 0,021 x VNC	0,98	0,29

¹Equation générale pour gras rognons et gras d'émoussage, et en race Charolaise pour les autres variables.

²Valeurs des paramètres pour races allaitantes uniquement (hors Salers et Limousin).

³Découpe avec parage complet et groupe de deux muscles

2.3 Les interfaces pour passer du prototype à l'outil

Les demandes formulées par les utilisateurs potentiels lors des enquêtes se résument en premier lieu à : i) disposer d'une application qui soit visible, accessible au plus grand nombre, ii) une ergonomie conviviale, tout en donnant des résultats pertinents. La personnalisation des simulations est un point important mentionné par les personnes enquêtées : choix des aliments, données d'analyses personnelles, aliments du commerce. Des demandes spécifiques ont été formulées pour pouvoir disposer du moteur de JB-Box® afin de l'intégrer à des outils déjà utilisés dans l'entreprise tels que des rationneurs. Ainsi, le cahier des charges « programmation interfaces » précise que l'interface devra notamment :

- permettre à des techniciens (ou des éleveurs) de « saisir » leur cas particulier sans difficultés de compréhension, puis de faire varier facilement les choix d'entrée,
- proposer des simulations des principaux critères technico-économiques utilisés sur le terrain tels que : les poids vifs, gains moyens de poids vif et carcasse, le poids carcasse, rendement commercial, durée d'engraissement, ingestion quotidienne et bilan de consommation totale et de concentrés, indice de consommation, coût alimentaire détaillé, marge nette/animal, etc.
- permettre aux utilisateurs de garder une trace des « simulations » qu'ils jugent intéressantes, pour qu'ils s'en servent comme « guide de conduite » de leur atelier d'engraissement (impression d'une fiche technique imprimable de type pdf),
- avoir un fonctionnement général qui devra permettre d'être compréhensible « intuitivement » par les utilisateurs professionnels, c'est-à-dire ne pas nécessiter la manipulation de « concepts » inhabituels ou compliqués.

2.4 JB-Box® : un outil web disponible depuis l'automne 2013

L'outil Internet de pilotage des ateliers d'engraissement s'appelle JB-Box®. Cette application est disponible pour tous depuis le 2 octobre 2013 sur le site www.jb-box.fr (Figure 3). Elle est plus

spécialement destinée aux éleveurs et à leurs techniciens pour les aider à simuler l'impact des pratiques d'élevage, et en particulier du rationnement, sur les performances zootechniques et économiques de l'atelier. Mais elle pourra également servir pour la formation des étudiants.

Le simulateur calcule au jour le jour une trentaine de variables et les résultats sont présentés sous forme de graphiques et de tableaux de synthèse. La réponse est rapide (moins de deux minutes) et personnalisée. Elle indique les niveaux de performances techniques et économiques atteints sur la période ou le dernier jour d'engraissement grâce notamment aux indicateurs suivants :

- le poids et le gain de poids (GMQ vif et GMQ carcasse) ;
- l'ingestion et l'indice de consommation (en vif et en carcasse) ;
- le coût des derniers kg de carcasse produits (en €/j et €/kg carcasse).

L'affichage de l'ingestion et de la croissance se fait sous forme de graphiques. Le suivi du prix de revient du kg de carcasse au jour le jour et en fin d'engraissement est possible. Les utilisateurs pourront aussi récapituler les besoins en chacun des aliments choisis dans la table INRA (2007) et comparer les performances techniques et économiques de plusieurs scénarios.



Figure 3. Ecran d'accueil de JB-Box® : www.jb-box.fr

JB-Box® offre aussi la possibilité d'éditer une fiche technique de synthèse de la simulation (PDF imprimable) ou de modifier les données d'entrée pour affiner l'étude dans une démarche de tests comparatifs. Ce support personnalisé, obtenu rapidement, appuiera le conseil en élevage sur les questions techniques des éleveurs.

JB-Box® apporte des réponses concrètes aux questions d'éleveurs et de techniciens, sur :

- l'impact d'un changement de régime en cours d'engraissement ;
- la gestion des stocks d'aliments en fonction des choix de ration ;
- l'évolution de l'indice de consommation carcasse au cours de l'engraissement ;
- les performances zootechniques attendues pour un lot de JB charolais avec une ration donnée ;
- les conséquences d'un alourdissement ou d'un allègement des carcasses.
- l'évolution du coût alimentaire au cours de l'engraissement avec un régime donné
- etc.

Ainsi, l'outil permet de prendre des décisions stratégiques pour la conduite des ateliers d'engraissement. Sans équivalent en France, JB-Box® est très complémentaire des outils actuellement proposés. Un logiciel du même type, Taurus (Dunbar et al., 1994), spécialement conçu pour les feedlots américains, est déjà utilisé avec succès sans toutefois intégrer de possibilité de comparaisons de simulations. JB-Box® s'inscrit dans la suite logique de ce qui est disponible dans le domaine de pilotage de l'alimentation des jeunes bovins avec les outils de rationnement (équilibre des rations, formulation et prix d'intérêt). JB-Box®, outil générateur de cas-type, pourra être utilisé pour alimenter les données d'entrée des outils d'analyse économique comme Cap'ECO (Echevarria, 2012) qui permet de détailler les coûts de production en bovin viande.

En conclusion

Le couplage de différents modèles dans le simulateur JB-Box® permet de fournir une estimation fiable de diverses variables d'intérêt professionnel. L'outil informatique final intègre ce travail pour simuler en dynamique les coûts d'alimentation et l'efficacité des lots d'animaux afin de répondre aux multiples interrogations de la filière d'engraissement de jeunes bovins. Les simulations réalisées par les utilisateurs permettront de comparer les performances de croissance et d'abattage de différents types d'animaux (races, efficacité alimentaire, âge et poids de départ) mais aussi selon l'alimentation (intérêt de nouveaux aliments, niveau de complémentation, gestion des stocks...) pour optimiser la rentabilité technico-économique de leur élevage. Le triple partenariat entre ARVALIS, l'INRA et l'Institut de l'Élevage permet d'accroître la diversité des données initiales, gage de la qualité de prédiction de l'outil dans une large gamme de situations. Les modèles sous-jacents devront cependant être régulièrement testés (assurance qualité) et réactualisés si nécessaire par de nouvelles observations et de nouveaux facteurs explicatifs.

Depuis le 2 octobre 2013, date du lancement officiel au Sommet de l'Élevage, JB-Box® est accessible librement et gratuitement à partir du site www.jb-box.fr. Cette version V1.0 est limitée à la race Charolaise et aux aliments de la table INRA. Dans la continuité du travail effectué avec les éleveurs pour la construction de l'outil, un bilan des retours d'expérience sera réalisé au bout d'une année d'utilisation afin de proposer une éventuelle version V2.0 enrichie (autres races, Limousine, Holstein, plus d'aliments...).

Remerciements : Les auteurs remercient B. Sepchat, T. Delcros et E. Boiziot ainsi que l'ensemble des personnels des stations expérimentales ayant participé à la réalisation et au dépouillement des essais. Ce projet a reçu la contribution financière du compte d'affectation spéciale «Développement agricole et rural».

Références bibliographiques

- Cassell D.L., 2007. Don't Be Loopy: Re-Sampling and Simulation the SAS® Way. SAS Global Forum 2007 Statistics and Data Analysis. Paper 183-2007, 18p.
- Dunbar J.R., Ahmadi A., Garrett W.N., Oltjen J.W., Drake D.R., 1994. Taurus 2.0 A least cost and ration analysis program for beef cattle. University of California Cooperative Extension Computer Program, Davis.
- Echevarria L., 2012. Cap'ECO : Calcul Automatisé de la Production Et des Coûts Opérationnels en élevage bovin viande. Journée technique engraissement, 12/02/2012, Paris.
- Férard A. Cabon G., Garcia-Launay F., Bastien D. et Agabriel J., 2012a. Variabilité de l'efficacité d'utilisation de l'énergie ingérée chez les jeunes bovins charolais : mise en évidence d'une évolution interannuelle. Rencontres Recherches Ruminants 19, 298.

- Féraud A., Bastien D., Cabon G., Micol D., Agabriel J., Garcia-Launay F., 2012b. BEEFBOX, un simulateur dynamique des performances de croissance et d'abattage de jeunes bovins selon le régime d'engraissement *Rencontres Recherches Ruminants* 19, 317-320.
- Gauch Hugh G., Jr., J. T. Gene Hwang, Gary W. Fick, 2003. Model Evaluation by Comparison of Model-Based Predictions and Measured Values. *Agron. J.* 95, 1442–1446.
- Garcia-Launay F., Féraud A., Delcros T., Bastien D., Cabon G., Micol D., Agabriel J., 2012, Beefbox, a dynamic simulator of growth for young bulls' production, *Proceedings of the 2012 Meeting of the Animal Science Modelling Group, Canadian Journal of Animal Science* 92, 551-565.
- Hoch T., Agabriel J., 2004a. A mechanistic dynamic model to estimate beef cattle growth and body composition : 1. Model description. *Agricultural Systems* 81, 1-15.
- Hoch T., Agabriel J., 2004b. A mechanistic dynamic model to estimate beef cattle growth and body composition : 2. Model evaluation. *Agricultural Systems* 81, 17-35.
- Hoch T., Pradel P., Champciaux P., Agabriel J., 2006. Simulating chemical and tissue composition of the growing beef cattle: from the model to the tool. In: (E. Kebreab, J. Dijkstra, A. Bannink, W.J.J. Gerrits et J. France Eds), *Nutrient digestion and utilization in farm animals – Modelling approaches*, pp. 135-143.
- INRA (ed.), 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Tables INRA 2007. Quae (ed.), 307 pp.
- INRAtion : Logiciel de rationnement des Ruminants -.Version 1, 1989, Version 4.0, 2008. In Agabriel J., Champciaux P., Espinasse C.-INRAtion. .Ed- Educagri 26 Bd du docteur Petitjean 21000 Dijon (France).
- Institut de l'élevage, ARVALIS, Chambre d'Agriculture Pays de la Loire – Bretagne, 2008. Production de jeunes bovins de races à viande et races laitières. 13 fiches de références sur les itinéraires techniques.
- McMeniman J.P., Tedeschi L.O., Defoor P.J., Galyean M.L., 2010. Development and evaluation of feeding-period average dry matter intake prediction equations from a commercial feedlot database. *Journal of Animal Science* 88, 3009-3017.
- McPhee M.J., Oltjen J.W., Fadel J.G., Perry D., Sainz R.D., 2008. Development and evaluation of empirical equations to interconvert between twelfth-rib fat and kidney, pelvic, and heart fat respective fat weights and to predict initial conditions of fat deposition models for beef cattle. *Journal of Animal Science* 86, 1984-1995.
- Navajas E.A., Richardson R.I. Fisher A.V., Hyslop J.J., Ross D.W., Prieto N., Simm G., Roehe R., 2010. Predicting beef carcass composition using tissue weights of a primal cut assessed by computed tomography. *Animal* 4 (11), 1810-1817.
- Quesnel G., Duboz R., Ramat É., 2009. The Virtual Laboratory Environment - An Operational Framework for Multi-Modelling, Simulation and Analysis of Complex Systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17, 641-653.
- Rigot F., Cabon G., Garcia F., Micol D., Agabriel J., 2009. Construction d'un simulateur de croissance des jeunes bovins en engraissement. *Rencontres Recherches Ruminants* 16, 41-44.
- Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J., 2005. Les méta-analyses des données expérimentales : applications en nutrition animale. *INRA Prod. Anim.* 18(1), 63-73.
- Viechtbauer W., Cheung M.W.L., 2010. Outlier and influence diagnostics for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 1, 112-125.