

Exemple d'un fonctionnement biotechnique d'un système culture-élevage à base de canne

J.L. Gourdine¹, X. Xandé¹, D. Renaudeau¹, E. González¹, M. Bructer², H. Archimède¹

¹ INRA, UR143, Unité de Recherches Zootechniques, 97 170 Petit-Bourg, Guadeloupe (F.W.I)

² INRA, UE503, Unité de Santé et de Productions Animales, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe (F.W.I)

RESUME

Une exploitation agricole produisant à la fois des porcs et des ruminants et des cultures de canne à sucre a été modélisée. L'objectif a été d'optimiser l'utilisation de la canne à sucre comme ressource principale pour l'alimentation animale. Ce modèle se focalise donc sur la production animale. On considère dans ce modèle les flux de matière et d'énergie générés par l'atelier de production depuis la disponibilité de l'aliment jusqu'à la sortie des effluents. Afin de simplifier le modèle, l'élevage se limite à des ateliers d'engraissement dont la taille est variable selon les scénarios étudiés. Deux scénarios ont été étudiés qui sont fonction de la forme de distribution de la canne à sucre pour les porcs (canne broyée vs. jus de canne). Le modèle de prédiction du bilan zootechnique (taille du cheptel, quantité de viande produite) a été développé et validé à partir de la bibliographie et des expériences menées en station expérimentale et chez l'agriculteur. Cette étude préliminaire fait ressortir une alternative intéressante de valoriser la canne à sucre dans une démarche de diversification intégrée.

Mots clés : Modélisation, culture élevage, Canne à sucre, Alimentation, Porc Créole,

INTRODUCTION

Face à la diminution de la disponibilité des énergies fossiles et à l'augmentation de leur prix et de celui des céréales (FAO, 2007), la recherche et le développement de ressources alimentaires locales pour le bétail sont devenus une priorité (Preston, 2006). Dans de nombreux pays tropicaux, la canne à sucre est utilisée depuis de nombreuses années comme base alimentaire du bétail, en particulier chez les ruminants durant les périodes sèches de l'année (Preston, 1986) et chez les porcs sous forme de jus ou de mélasse (Figuroa and Ly, 1990; Mena, 1981; Preston, 1980; Preston et al., 1968). La canne à sucre est capable de produire 3,8 fois plus de biomasse par an et par hectare qu'une production céréalière (Molina et al., 1997). Son utilisation comme ressource alimentaire principale dans un système de production tropicale avec différentes espèces domestiques animales contribue à augmenter la production animale sans dépendre fortement des importations de céréales (Figuroa and Ly, 1990). En Guadeloupe, son utilisation pour l'alimentation animale reste marginale, hormis pour les amarres utilisés en saison sèche pour les ruminants. Pratiquement, seule la tige de la canne à sucre est exploitée pour la production de sucre et de rhum. Par conséquent, entre 17 et 30% de la biomasse n'est pas exploitée (Neckles, 1986 ; Molina et al., 1997), ce qui représente un réel potentiel nutritionnel pour le bétail. Ce travail vise à montrer la possibilité d'utiliser la canne à sucre pour l'alimentation du bétail dans un schéma de type culture-élevage. Pour ce faire, une exploitation agricole produisant à la fois des porcs et des ruminants et des cultures de canne à sucre a été modélisée. Dans cette première approche, l'objectif a été d'optimiser l'utilisation de la canne à sucre comme ressource principale pour l'alimentation animale.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Quels sont les scénarios ?

La configuration choisie est la suivante : un exploitant agricole dispose d'une parcelle de canne à sucre (S, ha) qu'il souhaite valoriser en l'utilisant comme ressource alimentaire pour le bétail (bovins et porcs). Afin de simplifier le modèle, la parcelle de canne à sucre se limite à 1 ha. Etant donné les besoins énergétiques plus importants des porcs par rapport aux ruminants (besoins rapportés au poids vif) et du fait que les ruminants valorisent mieux les feuilles de la canne à sucre, la disponibilité de l'énergie apportée par la culture de canne à sucre pour les ruminants sera dépendante et conditionnée par la quantité de tiges allouées aux porcs et le mode d'alimentation utilisé pour engraisser les porcs. On distingue deux grands types de scénarios, qui correspondent à deux modes de distribution de la canne à sucre pour l'alimentation porcine. Le premier scénario (scénario CB pour canne broyée) consiste à utiliser la majorité de la tige de la canne pour l'alimentation porcine sous forme de canne broyée, et à utiliser les feuilles vertes (amarres) et les feuilles sèches (paille) des tiges pour l'alimentation bovine. Quant au second scénario (scénario JC pour jus de canne), il consiste à utiliser les tiges pressées pour obtenir du jus de canne pour les porcs et la bagasse restante en complément des amarres et de la paille pour nourrir les ruminants. A l'intérieur de chaque scénario, la quantité de tiges de canne à sucre allouée aux bovins (sous forme broyée avec les amarres) est variable (entre 0 et 50%).

1.2. Description de la structure du modèle

Dans le modèle, le système de production est représenté sous la forme de trois principaux compartiments (parcelle de canne à sucre, fabrication de l'aliment, élevage) qui échangent entre eux et avec le milieu extérieur par l'entrée et la sortie de flux de matières (Figure 1). Dans un premier temps, un modèle empirique statique et déterministe a été construit. L'approche traitée dans cette partie se limitant à une évaluation zootechnique des performances, les performances technico-économique du système ne seront pas abordées par manque de référentiel technique. Le principal objectif de ce modèle est de prédire la charge animale et la production de poids vif en fonction de la quantité de biomasse de canne à sucre disponible pour l'alimentation animale. Compte-tenu des caractéristiques du bovin Créole (Naves, 2003), du porc Créole (Renaudeau et al., 2006) et de l'optique de valoriser des races locales dans ce système, ces espèces ont été choisies. Afin de simplifier le modèle, l'élevage se limite à un atelier d'engraissement (30 à 60 kg pour les porcs – poids vif moyen $PV_{\text{moy_porc}}$ de 45 kg -et 150 à 450 kg pour les bovins – poids vif moyen $PV_{\text{moy_bovin}}$ de 300 kg). Le modèle est défini pour des animaux élevés en bâtiments et logés sur litière. Ce mode de logement permet une meilleure gestion des effluents obtenu en fumier (Thornton and Herrero, 2001) mais il présente l'inconvénient d'avoir des besoins en main-d'œuvre plus importants (Laligant et al., 2002).

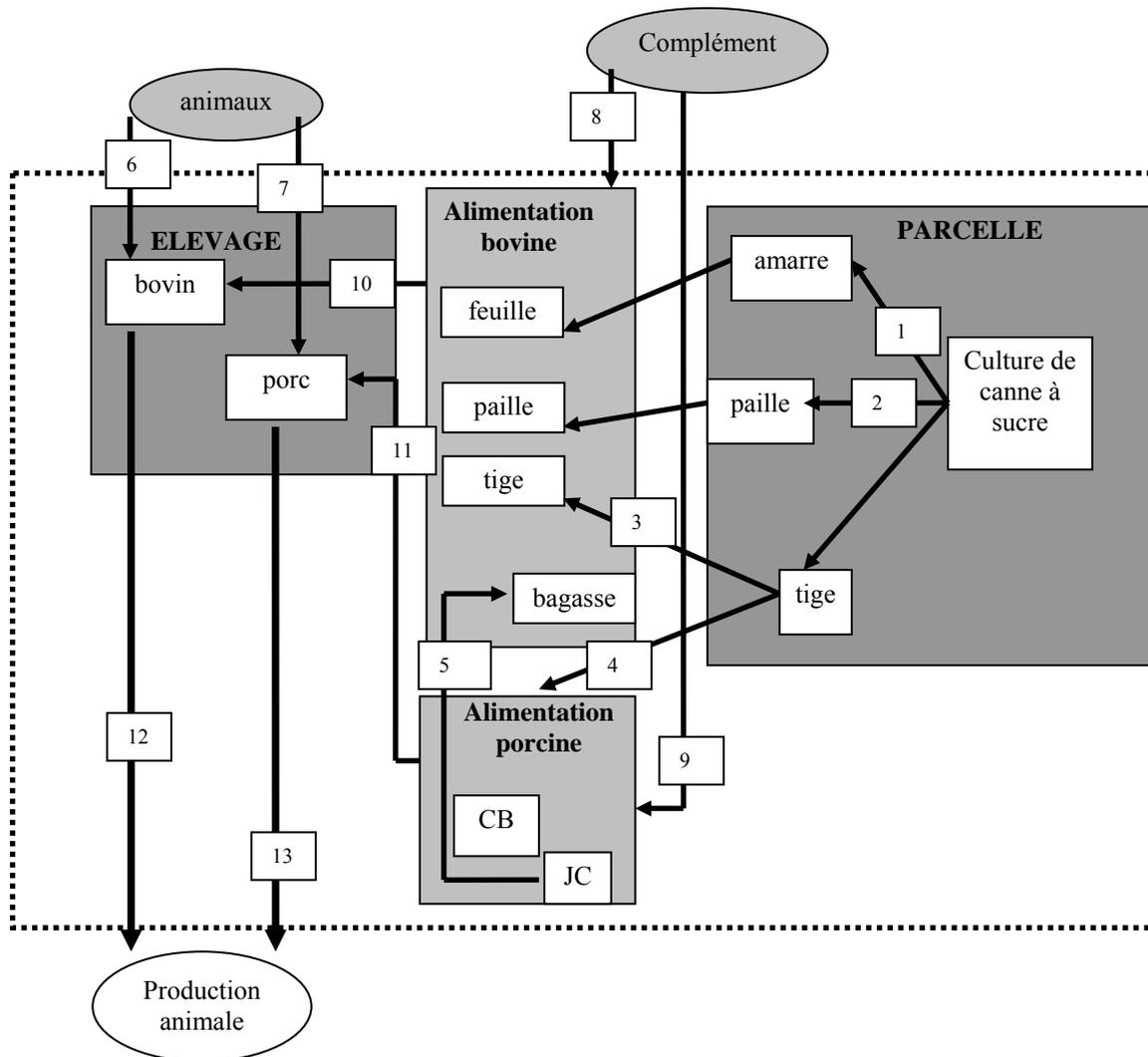


Figure 1 : Représentation schématique de l'utilisation de la canne à sucre comme base de l'alimentation animale. (CB = canne broyée ; JC = Jus de canne ; 1. Feuilles vertes de canne à sucre disponibles pour l'alimentation bovine ; 2. Feuilles sèches de canne à sucre disponibles pour l'alimentation bovine ; 3. Tiges de canne à sucre disponibles pour l'alimentation bovine ; 4. Tiges de canne à sucre disponibles pour l'alimentation porcine en mode CB ou JC ; 5. Utilisation de la bagasse, obtenue après pressage lors de la préparation du jus de canne pour les porcs, pour l'alimentation bovine ; 6. Entrée de bovins ; 7. Entrée de porcs ; 8. Entrée de compléments alimentaires (azotés) pour l'alimentation bovine ; 9. Entrée de compléments alimentaires (azotés) pour l'alimentation porcine ; 10. Utilisation des composants de la canne à sucre pour l'alimentation bovine ; 11. Utilisation des tiges de canne à sucre sous forme de CB ou de JC pour l'alimentation porcine ; 12. Production de viande bovine ; 13. Production de viande porcine ; adaptée de (Baudon et al., 2005)

Le modèle a été réalisé en utilisant le module Scicos de constructions et de simulations du logiciel Scilab 4.1 (Scilab (c)INRIA-ENPC) (Campbell et al., 2006). La section suivante présente l'architecture du modèle biotechnique. Les paramètres d'entrée du modèle sont la quantité quotidienne de matière sèche (MS) de canne à sucre coupée pour l'alimentation du bétail ($MS_{\text{canne_coupée}}$, kg/j), la proportion de tige allouée aux porcs ($p_{\text{tige_porc}}$), la durée d'engraissement des porcs (T , j), la capacité maximale de l'élevage porcin ($cap_{\text{porc_maxi}}$, S_{porc} , m²), la proportion de paille utilisée pour l'alimentation bovine ($p_{\text{paille_bovin}}$) et la quantité journalière de concentrés allouée à un bovin ($QUF_{\text{concentré}}$, kg/j). Les paramètres de sortie sont la charge annuelle animale par hectare de canne à sucre (Nb_{porcs} et Nb_{bovins}) et la quantité de poids vif produit par hectare de canne à sucre (PV_{animaux} , kg/ha).

1.2.1. La culture de canne à sucre (tableau 1)

La quantité de biomasse produite par la parcelle de canne à sucre (S , ha) est répartie en 3 composantes: la quantité de MS de tige (MS_{tige} , kg/ha), la quantité d'amarres (MS_{amarre} , kg/ha) et la quantité de paille (MS_{paille} , kg/ha) Ces quantités sont calculées en fonction du rendement de la parcelle (Rendement, kg/ha de tige), de la teneur en MS de la tige (t_{MS_CB}) et des proportions respectives de tige (p_{tige}), d'amarres (p_{amarre}) et de paille ($p_{\text{paille}} = 1 - p_{\text{tige}} - p_{\text{amarre}}$). contenues dans une canne à sucre entière (Eq. 1.1 à 1.9). Les porcs reçoivent la canne à sucre soit sous forme broyée (CB) ou sous forme de jus (JC). La quantité de MS de jus est calculée en fonction de la teneur en MS du jus de canne (t_{MS_JC}) et du taux d'extraction du jus après pressage de la tige ($t_{\text{extract_JC}}$). La biomasse de canne à sucre disponible pour nourrir les bovins est déduite de la quantité de tige utilisée ($p_{\text{tige_porc}}$) et du mode de distribution de la tige dans l'alimentation porcine (CB ou JC). Pour une distribution de la canne pour les porcs sous forme de CB, la biomasse disponible pour les bovins correspond à la somme de la canne entière restante (tige + amarre + paille) proposée sous forme broyée, la quantité d'amarres et de pailles non utilisées provenant des tiges nettoyées utilisées dans l'alimentation porcine. Pour le mode JC, la « bagasse », résidu du pressage des tiges utilisées pour nourrir les porcs, vient s'ajouter aux autres composantes.

Tableau 1 : Récapitulatif des principales équations utilisées pour calculer la biomasse de canne à sucre disponible pour l'alimentation du bétail.

$MS_{\text{tige}} = \text{Rendement} \times S \times t_{MS_JC}$, (kg/ha)	Eq. 1.1
$MS_{CB_ingéré_porc} = (1 - p_{\text{refus_porc_CB}}) \times p_{\text{tige_porc}} \times MS_{\text{canne_coupée}}$ (kg/j)	Eq. 1.2
$MS_{JC_ingéré_porc} = (1 - p_{\text{refus_porc_JC}}) \times t_{\text{extract_JC}} \times t_{MS_JC} \times p_{\text{tige_porc}} \times MS_{\text{canne_coupée}} / t_{MS_CB}$ (kg/j)	Eq. 1.3
$EM_i_ingéré_porc = MS_i_ingéré_porc \times EM_i_porc$, $i = \{CB, JC\}$ (MJ/j)	Eq. 1.4
$MS_{\text{canne_entière_alloué_bovin}} = MS_{\text{canne_coupée}} \times (1 - p_{\text{tige_porc}}) / p_{\text{tige}}$ (kg/j)	Eq. 1.5
$MS_{\text{amarre_alloué_bovin}} = MS_{\text{canne_coupée}} \times p_{\text{tige_porc}} \times p_{\text{amarre}} / p_{\text{tige}}$ (kg/j)	Eq. 1.6
$MS_{\text{paille_alloué_bovin}} = MS_{\text{canne_coupée}} \times p_{\text{tige_porc}} \times p_{\text{paille}} \times p_{\text{paille_bovin}} / p_{\text{tige}}$ (kg/j)	Eq. 1.7
$MS_{\text{bagasse_alloué_bovin}} = p_{\text{bagasse_bovin}} \times p_{\text{tige_porc}} \times MS_{\text{canne_coupée}} \times (1 - t_{\text{extract_JC}} \times t_{MS_JC} / t_{MS_CB})$ (kg/j)	Eq. 1.8
	Eq. 1.9

1.2.2. Les animaux

1.2.2.1. Le compartiment porc (tableau 2)

Quelque soit le mode de distribution, une complémentation azotée de 400 g/j à base de tourteau de soja a été utilisée afin d'atteindre les besoins protéiques de l'animal (Renaudeau et al., 2006 ; Xandé et al., 2007). Pour estimer la quantité de protéines déposées et compte-tenu de la faible teneur en matière azotée de la canne à sucre (Xandé et al., 2007), nous avons fait l'hypothèse que les apports protéiques pour la couverture des besoins azotés des porcs proviennent uniquement de la complémentation azotée. Les quantités de MS ($MS_{CB_ingéré_porc}$ ou $MS_{JC_ingéré_porc}$) et d'énergie métabolisable ($EM_{CB_ingéré_porc}$ ou $EM_{JC_ingéré_porc}$) de la canne à sucre, et du complément azoté ($MS_{\text{complément_ingéré_porc}}$ et $EM_{\text{complément_ingéré_porc}}$) quotidiennement ingérées par un porc sont calculées à partir des taux de refus et des coefficients de digestibilité de l'aliment (Eq. 2.1 à Eq. 2.3). La prédiction du gain de poids du porc est réalisée à partir du bilan énergétique et protéique (lysine) en utilisant les équations de Noblet (2005) (Eq. 2.4 à 2.9) et à partir du dépôt de lipides (Ld) et de protéines (Pd) en utilisant les équations de van Milgen et al. (2005) (Eq. 2.10 et 2.13).

Tableau 2 : Récapitulatif des principales équations utilisées pour calculer la charge annuelle porcine

Complémentation azotée	
$MS_{\text{complément ingéré porc}} = 0,4 \times P_{\text{refus porc complément}} \times MS_{\text{complément}} \text{ (kg/j)}$	Eq. 2.1
$EM_{\text{complément ingéré porc}} = MS_{\text{complément ingéré porc}} \times EM_{\text{complément porc}} \text{ (MJ/j)}$	Eq. 2.2
$Lys_{\text{complément ingéré porc}} = tLys_{\text{digestible}} \times MS_{\text{complément ingéré porc}} \text{ (g/j)}$	Eq. 2.3
Entretien	
$EM_{\text{entretien porc}} = 1,05 \times PV_{\text{moyen porc}}^{0,60} \text{ (MJ/j)}$	Eq. 2.4
$Lys_{\text{entretien porc}} = 0,036 \times PV_{\text{moyen porc}}^{0,75} \text{ (g/j)}$	Eq. 2.5
$EM_{\text{complément ingéré entretien porc}} = Lys_{\text{entretien porc}} / tLys_{\text{digestible}} \text{ (MJ/j)}$	Eq. 2.6
$EM_{i \text{ ingéré entretien porc}} = EM_{\text{entretien porc}} - EM_{\text{complément ingéré entretien porc}}, i = \{CB, JC\} \text{ (MJ/j)}$	Eq. 2.7
Production	
$EM_{i \text{ ingéré production porc}} = EM_{i \text{ ingéré porc}} - EM_{i \text{ ingéré entretien porc}}, i = \{CB, JC\} \text{ (MJ/j)}$	Eq. 2.8
$Lys_{\text{production porc}} = Lys_{\text{complément ingéré porc}} - Lys_{\text{entretien porc}} \text{ (g/j)}$	Eq. 2.9
$P_d = 0,001 \times 0,65 \times Lys_{\text{production porc}} / p_{Lys} \text{ (kg/j)}$	Eq. 2.10
$L_{di} = 0,001 \times 0,80 \times (EM_{i \text{ ingéré production porc}} - Lys_{\text{production porc}}) / 0,0395, i = \{CB, JC\} \text{ (kg/j)}$	Eq. 2.11
$PVV_i = 5,83 \times (\int P_d dt + 0,15)^{0,95} + 0,97 \times (\int L_d dt + 0,21)^{0,95}, i = \{CB, JC\} \text{ (kg/j)}$	Eq. 2.12
$PV_{i \text{ final porc}} = 0,89 \times PVV_i^{1,014}, i = \{CB, JC\} \text{ (kg/j)}$	Eq. 2.13
Sorties	
$charge_{\text{porc}} = MS_{\text{tige}} / (T \times MS_{\text{canne coupée}}) \text{ (nombre de porcs/ha de canne à sucre)}$	Eq. 2.14
$charge_{\text{porc période}} = charge_{\text{porc}} / cap_{\text{porc maxi}} \text{ (nombre de porcs/période d'engraissement)}$	Eq. 2.15
$Nb_{\text{porc période}} = charge_{\text{porc}} / charge_{\text{porc période}} \text{ (nombre de période d'engraissement/ha)}$	Eq. 2.16

1.2.2.2. Le compartiment bovin (tableau 3)

La consommation (CMJ) et le gain de poids quotidiens d'un bovin en fonction de la ration considérée ($GMQ_{\text{bovin}_{CB}}$ et $GMQ_{\text{bovin}_{JC}}$) ont été calculés (Eq. 3.1 à 3.3) en fonction des valeurs d'encombrement de chaque composante (UE_{amarre} , UE_{paille} , $UE_{\text{canne entière}}$, UE_{bagasse}) de la canne à sucre (Aumont et al., 1991), des gains de poids ($GMQ_{\text{canne entière}}$, GMQ_{amarres} , GMQ_{paille} , GMQ_{bagasse}) par composante de canne à sucre utilisée (Archimède, commun. pers.) et de la couverture des besoins azotés des ruminants (apportée soit par une quantité maximale d'urée de 0,37 g/j par kilogramme de poids vif soit par une complémentation énergétique et azotée variable de concentrés). En tenant compte de la quantité quotidienne de biomasse de canne à sucre disponible pour les bovins ($MS_{\text{bovin}_{CB}}$ et $MS_{\text{bovin}_{JC}}$) et de la charge porcine par période d'engraissement, on en déduit la charge bovine ($charge_{\text{bovin}_{CB}}$ et $charge_{\text{bovin}_{JC}}$).

Tableau 3 : Récapitulatif des principales équations utilisées pour calculer la charge annuelle bovine

Production	
$CMJ_{\text{bovin}_i} = 0,01 \times (1 - p_{\text{refus bovin}_i}) \times UE_i \times (PV_{\text{initial bovin}} - PV_{\text{final bovin}})$	Eq. 3.1
$i = \{\text{canne entière}, \text{amarre}, \text{paille}, \text{bagasse}\}$	
$GMQ_{\text{bovin}_j} = [1000 \times QUF_{\text{concentré}} / 3,2] + \sum_i [MS_{i \text{ ingéré bovin}} / CMJ_{\text{bovin}_i}] \times GMQ_i$	Eq. 3.2
Sorties	
$charge_{\text{bovin}_j} = charge_{\text{porc période}} \times \sum_i [MS_{i \text{ ingéré bovin}} / CMJ_{\text{bovin}_i}] \text{ (nombre de bovins/ha de canne à sucre)}$	Eq. 3.3
avec $j = \{CB, JC\}$; si $j = CB$ alors $i = \{\text{canne entière}, \text{amarre}, \text{paille}\}$ sinon $i = \{\text{canne entière}, \text{amarre}, \text{paille}, \text{bagasse}\}$	

2. RESULTATS et DISCUSSION

2.1. Validation

Il n'est pas possible de présenter ici une validation complète du modèle. Aussi nous avons choisi d'évaluer les performances de croissance uniquement des porcs à partir d'une base de références bibliographiques pour lesquelles ces informations étaient disponibles (Molina et al., 1997 ; Xandé et al., 2006; Xandé et al., 2007 ; Xandé et al., données non publiées). La majorité de ces données concernaient les porcs de race Créole à l'engraissement. Seule une référence concernait des porcs de races exotiques (Piétrain, Duroc, Hampshire) pour une gamme de poids entre 20 et 80 kg (Molina et al., 1997). La figure 2 montre les observations et les prédictions pour la croissance. La courbe de régression est aussi indiquée. Le modèle prédit de façon satisfaisante la vitesse de croissance sur une plage de variation assez grande. La pente de la régression entre les croissances mesurées et prédites est voisine de l'unité et le coefficient de détermination (R^2) s'élève à 0,82. Néanmoins, des données supplémentaires sont nécessaires pour nous permettre de conclure sur la robustesse et la précision de la prédiction de la croissance des porcs.

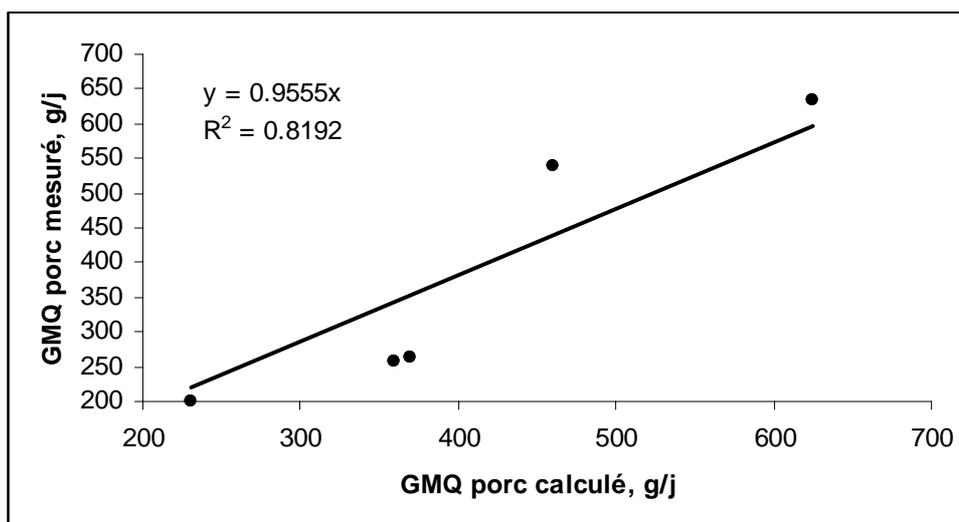


Figure 2 : Relation entre le GMQ du porc prédit par le modèle et le GMQ mesuré. Résultats provenant de 3 études correspondant à 5 lots expérimentaux.

2.2. Simulations

L'influence de la proportion quotidienne de tige allouée à l'alimentation d'un porc sur la production animale est rapportée dans le Tableau 4. Dans un scénario CB, la production porcine n'excède pas 2,0 tonnes/ha. La production de poids vifs de bovins varie entre 0,12 et 0,50 tonnes/ha sans complémentation protéiques en concentrés comparée à des valeurs entre 0,41 et 1,21 avec complémentation. Dans un scénario JC, les valeurs de production porcine sont plus élevées que dans un scénario CB. En tenant compte des vitesses de croissances, les meilleurs résultats sont obtenus avec un scénario JC pour les porcs et avec une portion des tiges coupées allouée à l'alimentation bovine (entre 10 et 20%).

Tableau 4 : Influence de la proportion quotidienne de canne à sucre allouée au porc sur la production et la charge animale (bovine et porcine). (La quantité de canne à sucre coupée pour l'alimentation du bétail est fixée à 20 kg/j et le poids vif moyen des porcs est fixé à 45 kg et celui des bovins à 300 kg)

Mode d'alimentation porcine	CB			JC		
tiges fraîches allouées à un porc, kg/j	12	16	20	12	16	20
Porcs						
Charge porcine, Nb/ha	32,8			32,8		
Poids vifs produit, tonnes/ha	1.16	1.52	1,88	1,66	1,98	2,29
GMQ, g/j	290	381	470	414	494	573
Bovins						
Charge bovine, Nb/ha	17,0	12,0	6,9	39,4	31,2	22,9
Poids vifs produit, tonnes/ha						
avec urée	0.50	0,31	0,12	0.73	0,48	0,23
avec concentrés	1.21	0,81	0,41	2.38	1,78	1,18
GMQ, g/j						
avec urée	220	194	129	140	115	74
avec concentrés	533	506	441	452	428	386

L'influence de la quantité de canne quotidiennement allouée à un porc sur la charge animale est rapportée à la figure 4. D'après le modèle et selon les paramètres de rendement et de besoins nutritionnels des animaux considérés, un hectare de canne à sucre permettrait de nourrir entre 30 et 70 porcs à l'engrais et entre 8 et 40 bovins. Ces dernières valeurs sont comparables aux résultats obtenus en conditions de pâturage semi-intensif (Naves, 2003).

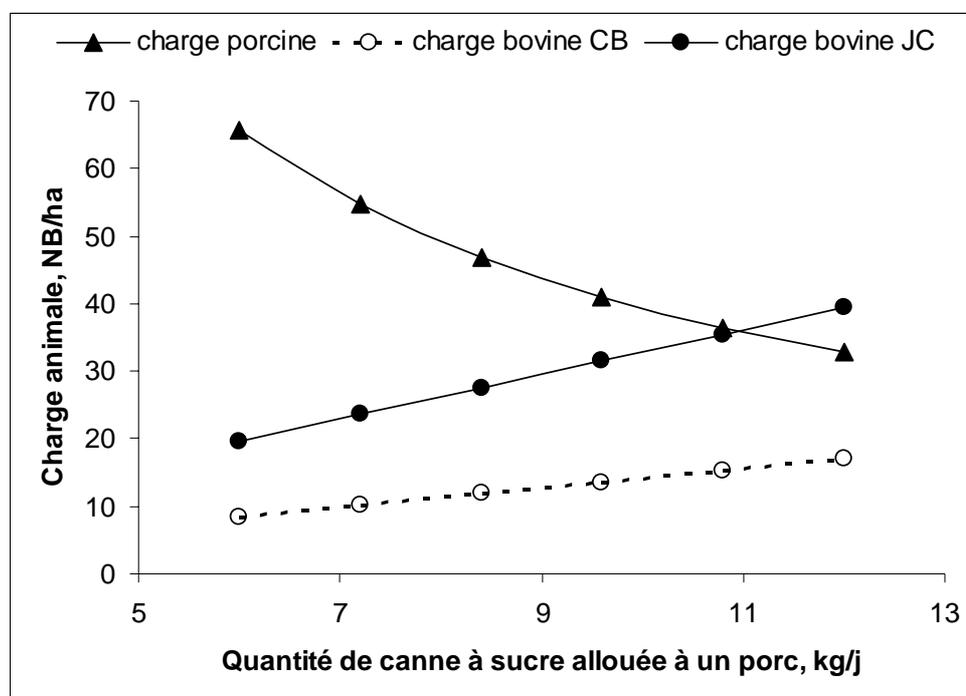


Figure 3 : Influence de la quantité quotidienne de canne à sucre allouée à un porc sur la charge animale (La proportion de canne à sucre allouée pour l'alimentation porcine est fixée à 60% ; charge bovine JC correspond à la charge bovine correspondant à un mode de distribution en jus pour les porcs)

CONCLUSION

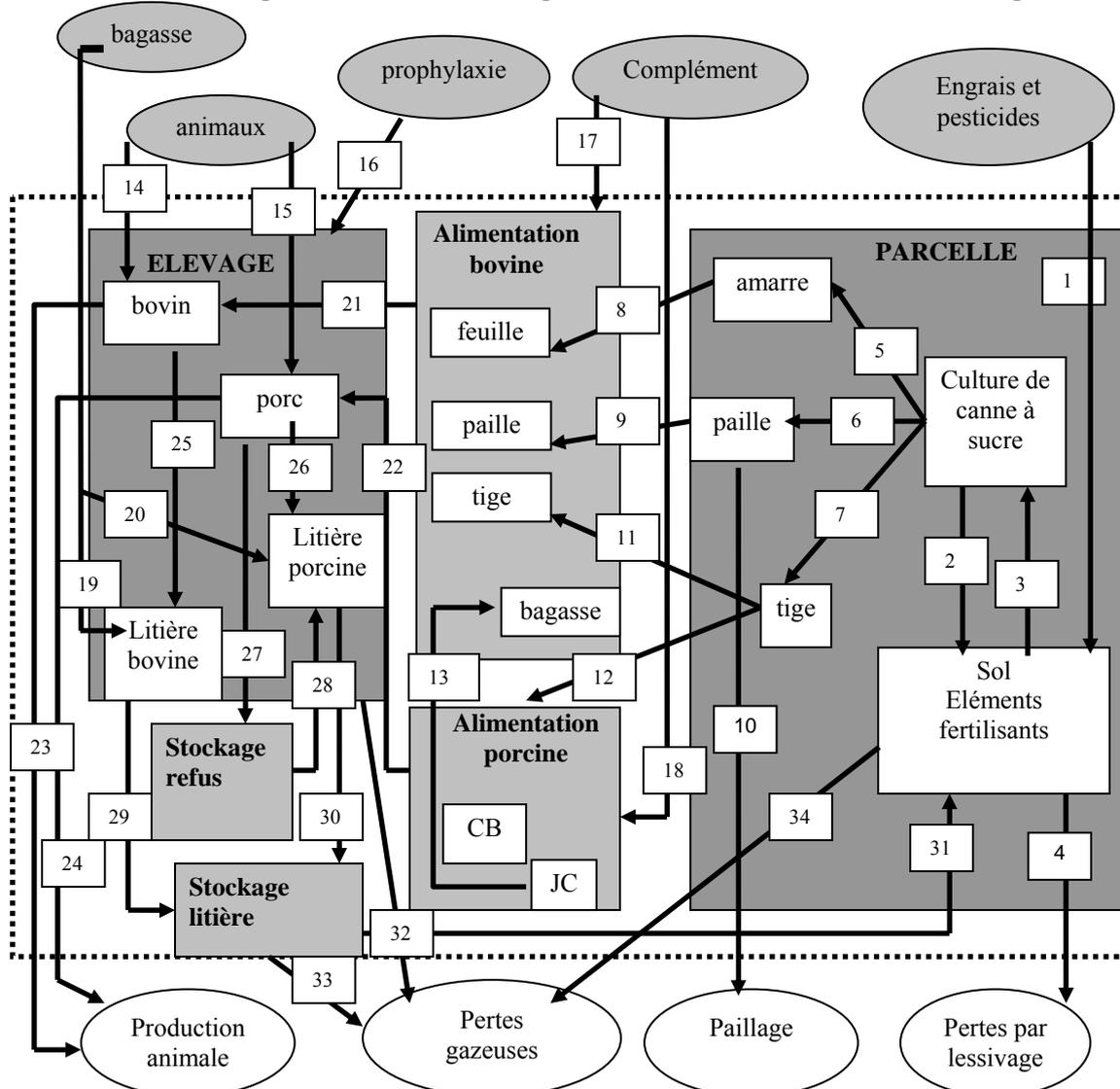
Nos résultats se limitent à une évaluation zootechnique des performances. D'autres données sont indispensables pour calibrer le modèle et pour valider la capacité du modèle à prédire la production animale. Les premières simulations effectuées montrent qu'il serait intéressant d'utiliser la canne à sucre comme ressource alimentaire principale pour le bétail. Il serait intéressant dans un second temps, d'ajouter au modèle biotechnique, des considérations économiques et sociales permettant de construire les différents éléments du système de pilotage qui vise à maximiser la marge brute globale de l'exploitation. Par ailleurs, le modèle étant statique, les besoins quotidiens de production et d'entretien des animaux ont été moyennés. Il convient d'améliorer le modèle en le rendant dynamique de manière à coller le plus que possible à la réalité.

BIBLIOGRAPHIE

- Aumont, G., Caudron, I., Xandé, A. (1991). Table des valeurs alimentaires de fourrages tropicaux de la zone caraïbe et de la réunion, Edition SRZ, Guadeloupe.
- Baudon, E., Cottais, L., Leterme, P., Espagnol, S., Dourmad, J. Y. (2005). Optimisation environnementale des systèmes de production porcine, Journées Recherche Porcine, 37: 8.
- Campbell, S. L., J. P. Chancelier, and R. Nikoukhah. (2006). Modeling and simulation in scilab/scicos. Springer ed. Springer Science + Business Media, LLC, New York.
- FAO. (2007). Food outlook global market analysis.
- Figuroa, V., and L. Ly. (1990). Alimentacion porcina no convencional. In: Col. GEPLACEA. Serie Diversificaciòn. , Mexico. p 1.
- Laligant, D., D. Rimoux, and C. Dutertre. (2002). Performances technico-économique comparées de la litière et du caillebotis intégral en engraissement. Techni-Porc 25: 4.
- Mena, A. (1981). Sugar cane juice as an energy source for fattening pigs. Tropical Animal Production 6: 7.
- Molina, C. C. H., D. C. H. Molina, D. E. J. Molina, and D. J. P. Molina. (1997). Sugarcane for beef and pork production. In: Conference on Tropical Feeds. p 16.
- Naves, M. (2003). Caractérisation et gestion d'une population bovine locale de la zone tropicale: Le bovin créole de Guadeloupe, Institut National Agronomique, Paris-Grignon,, Paris.
- Neckles, F. A. (1986). Experiences with whole sugarcane feeding in trinidad and Tobago, FAO, p 9.
- Noblet, J. (2005). Protein and energy requirement of growing pigs, Viçosa, MG, Brasil. p 175-198.
- Preston, T. R. (1980). A model for converting biomass (sugar cane) in animal feed and fuel. Animal Production System for the Tropics 8.

- Preston, T. R. (1986). Sugarcane as animal feed : An overview. In: Sugar cane as feed, Santo Domingo, Dominican Republic. p 10.
- Preston, T. R. (2006). Forages as protein sources for pigs in the tropics. CAB Reviews : Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 1: 10.
- Preston, T. R., N. A. MacLeod, L. Lassota, M. B. Willis, and M. Velazquez. 1968. Sugar cane products as energy sources for pigs. *Nature* 219: 4.
- Renaudeau, D., B. Bocage, and J. Noblet. (2006). Influence of energy intake on protein and lipid deposition in creole and large white growing pigs. *Animal Science* 86: 937-947.
- Thornton, P. K., and M. Herrero. (2001). Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agricultural Systems* 70: 22.
- van Milgen, J., J. Noblet, A. Valancogne, S. Dubois, and J. Y. Dourmad. (2005). Inraporc : Un modèle pour analyser les performances et évaluer les stratégies alimentaires chez le porc en croissance. *Journées Recherches Porcine* 37: 8.
- Xandé, X., D. Renaudeau, E. Despois, F. Silou, and M. Giorgi. (2006). Influence of sugar cane diet on growth performance, carcass traits and meat quality in creole growing pigs. *Congrès du CAS* 29/05/06.
- Xandé, X., D. Renaudeau, J. L. Gourdine, and H. Archimède. (2007). Evaluation d'une alimentation à base de canne à sucre sur les performances et la qualité de la carcasse des porcs créoles. *Journées de la Recherche Porcine* 39: 231-237.

Annexe : Représentation schématique de la totalité du modèle biotechnique



CB = canne broyée ; JC = Jus de canne ; 1. Entrée de matière par l'achat d'engrais et de pesticides ; 2. Retour d'éléments fertilisants au sol par les résidus de culture ; 3. Prélèvement d'éléments fertilisants par les plants de canne à sucre ; 4. Lessivage d'azote restant dans le sol ; 5. Production de feuilles vertes de canne à sucre ; 6. Production de feuilles sèches de canne à sucre ; 7. Production de tiges de canne à sucre ; 8. Feuilles vertes de canne à sucre disponibles pour l'alimentation bovine ; 9. Feuilles sèches de canne à sucre disponibles pour l'alimentation bovine ; 10. Sortie de paille de canne à sucre utilisée pour le paillage des sols maraîchers ; 11. Tiges de canne à sucre disponibles pour l'alimentation bovine ; 12. Tiges de canne à sucre disponibles pour l'alimentation porcine en mode CB ou JC ; 13. Utilisation de la bagasse, obtenue après pressage lors de la préparation du jus de canne pour les porcs, pour l'alimentation bovine ; 14. Entrée de bovins ; 15. Entrée de porcs ; 16. Entrée de produits vétérinaires pour la santé des bovins et des porcs ; 17. Entrée de compléments alimentaires (azotés) pour l'alimentation bovine ; 18. Entrée de compléments alimentaires (azotés) pour l'alimentation porcine ; 19. Entrée possible de bagasse pour la confection de la litière bovine ; 20. Entrée possible de bagasse pour la confection de la litière porcine ; 21. Utilisation des composantes de la canne à sucre pour l'alimentation bovine ; 22. Utilisation des tiges de canne à sucre sous forme de CB ou de JC pour l'alimentation porcine ; 23. Production de viande bovine ; 24. Production de viande porcine ; 25. Déjections des bovins dans la litière ; 26. Déjections des porcs dans la litière ; 27. Transfert possible du « refus » de CB par les porcs vers une unité de stockage pour séchage de la « bagasse » ; 28. Utilisation possible de la bagasse provenant des refus des porcs pour la litière ; 29. Transfert de la litière bovine vers une unité de stockage ; 30. Transfert de la litière porcine vers une unité de stockage ; 31. Utilisation de la litière comme fumier sur la culture de canne à sucre ; 32. Pertes gazeuses de composés azotés dans les bâtiments bovin et porcin ; 33. Pertes gazeuses de composés azotés lors du stockage ; 34. Pertes gazeuses de composés azotés lors de l'épandage du fumier ; adaptée de (Baudon et al., 2005)