

# Développement d'un système d'énergie nette appliqué à la modélisation mathématique du porc charcutier

J. RIVEST, P. JEAN dit BAILLEUL, C. POMAR

*Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Centre de Recherche et de Développement sur le Bovin Laitier et le Porc.  
Station de Recherches - CP 90, 2000 route 108 Est, Lennoxville, Québec, J1M 1Z3, Canada*

*avec la collaboration de Techna Nutrition Animale, BP10, 44220 Couëron  
et de Génétiporc, BP12, St Bernard, Beauce, Québec, G0S 2G0, Canada*

## **Développement d'un système d'énergie nette appliqué à la modélisation mathématique du porc charcutier**

Cette étude a été conduite dans le but de développer un système d'énergie nette qui puisse être incorporé dans un modèle dynamique de croissance du porc. Ce nouveau système d'énergie doit être capable de prédire les changements dans les taux des dépôts protéiques et lipidiques causés par une modification de la composition en nutriments de l'aliment, du niveau d'alimentation, du stade physiologique et du potentiel de croissance protéique du porc. Dans le système développé, l'apport énergétique de la ration est défini par cinq nutriments, soit la protéine, les lipides et les fibres digestibles ainsi que l'amidon et les sucres totaux. L'énergie de ces nutriments est orientée vers trois fonctions métaboliques qui sont l'entretien et les rétentions protéiques et lipidiques. Le reste est perdue dans l'urine, les gaz ou encore sous forme de chaleur. Avant leur utilisation métabolique, les nutriments passent par les compartiments intermédiaires d'équivalents glucose ou d'acides gras volatils. Les paramètres du modèle sont estimés à partir d'une procédure d'optimisation non linéaire et des données de la littérature. Le modèle est validé en regard de la qualité de ses prédictions, de ses avantages par rapport au modèle traditionnel d'énergie digestible et ainsi qu'en regard de sa stabilité lorsqu'il est mis à l'épreuve dans diverses conditions de simulation. Comparativement aux systèmes d'énergie nette actuellement utilisés, le système proposé tient compte de la composition de la ration, mais aussi des performances de l'animal, ce qui n'avait pas encore été fait jusqu'ici.

## **Development of a net energy system applied to pig growth models**

This study was conducted in order to develop a net energy system that can be incorporated into a dynamic pig growth model. This new energy system should be able to simulate the effect of the physiologic state of the pig and of the nutrient composition of foodstuffs on the efficiency of energy utilisation. In the proposed system, the energetic contribution of the diet is defined by three digestible nutrients that are digestible protein, digestible lipids and digestible fibres, and also by total starch and sugars. The energy of these nutrients is directed toward three metabolic functions or is lost in the urine, in the gas or as heat. The metabolic functions considered are maintenance, and protein and lipid retentions. Before their metabolic utilisation, some nutrients are transformed into intermediate products, which can be glucose-equivalent and/or volatile fatty acid. The parameters of the model are estimated with a non-linear algorithm or from literature data. The model is validated in regards to the quality of its predictions, of the pertinence of its complexity, compared with a digestible energy based model and in regard to its stability when it is challenged by different simulation conditions. Compared to the net energy systems actually used, the system proposed here takes into account, not only the composition of the diet, but also the final metabolic destination of nutrients, which has never been done yet.

## INTRODUCTION

Dans l'alimentation du porc, l'utilisation d'un système d'énergie nette (EN) est une pratique courante en Europe, alors qu'elle ne fait que débiter en Amérique du Nord. Ce système d'énergie permet de tenir compte des différences qui existent entre les nutriments quant à l'efficacité de leur énergie digestible (ED). Ces différences sont importantes lorsque l'on utilise des aliments riches en gras, en fibres ou en protéine.

Différents systèmes d'EN ont été développés pour le porc (SCHIEMANN et al, 1972 cité par NOBLET et al, 1989; JUST, 1982 et NOBLET et al, 1994a). Dans le système de JUST (1982), l'EN d'un aliment est calculée à partir de sa teneur en énergie métabolisable (EM) tandis que dans les systèmes de NOBLET et al (1994a) et de SCHIEMANN et al (1972), la prédiction de la teneur en EN tient compte de la composition en nutriments des aliments. Ces systèmes ont en commun le fait que la valeur énergétique d'un aliment est indépendante des performances de l'animal, car leur but principal est de caractériser le potentiel énergétique des aliments. Or, l'efficacité énergétique des nutriments varie non seulement en fonction de leur nature mais également en fonction de leur utilisation métabolique (MULLER et KIRCHGESSNER, 1986).

La modélisation mathématique de la croissance du porc permet d'évaluer entre autres, le besoin d'entretien et les rétentions protéiques et lipidiques dans différentes conditions de production. Ces conditions sont définies principalement par la composition de la ration, le niveau d'ingestion, le génotype et l'état physiologique (cf. WHITTEMORE et FAWCETT, 1976 ; MOUGHAN et SMITH, 1984 ; POMAR et al, 1991). Les modèles actuels de croissance sont basés sur l'ED. Par conséquent, ils ne tiennent pas compte des différences d'efficacité de l'énergie des rations occasionnées par leur composition en nutriments. D'un autre côté, les systèmes actuels d'EN ne peuvent être appliqués directement dans ces modèles puisqu'ils ne tiennent pas compte du devenir métabolique des nutriments selon l'état physiologique de l'animal.

L'objectif de la présente étude est de développer un système d'EN qui peut être incorporé dans un modèle dynamique de croissance du porc. Ce nouveau système d'énergie doit être capable de prédire les changements dans les taux des dépôts en protéine et en lipides des porcs causés par une modification de la composition en nutriments de la ration, du niveau d'alimentation, du stade physiologique du porc et/ou du potentiel de croissance protéique.

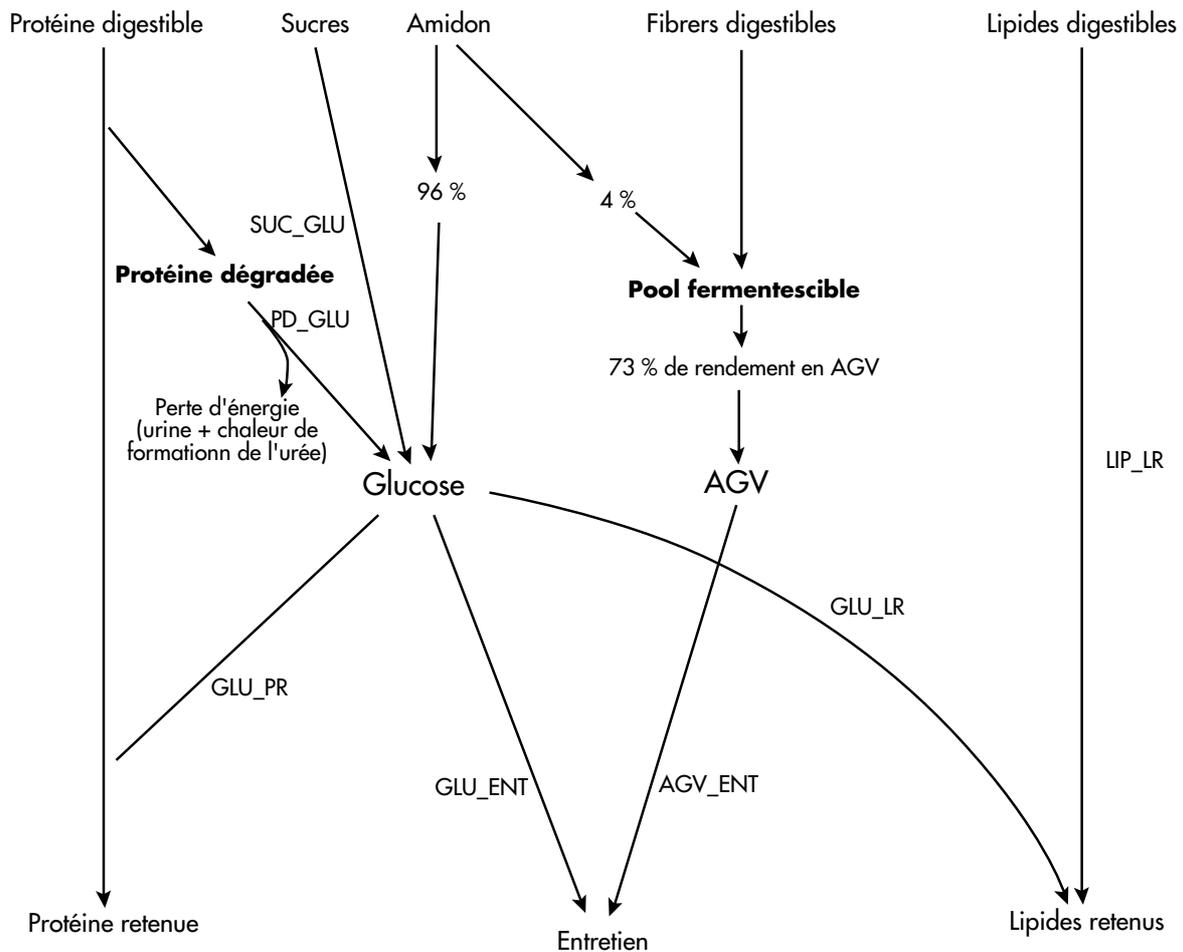
### 1. DESCRIPTION DU MODÈLE

Dans une première étape, nous avons élaboré un schéma général sur l'utilisation énergétique des nutriments de façon à représenter les connaissances actuelles du métabolisme énergétique. Le modèle retenu est relativement simple, il possède un nombre raisonnable de paramètres, et représen-

te les principales efficacités énergétiques associées aux nutriments selon leur destination métabolique (figure 1). Pour bâtir ce modèle, nous avons retenu les hypothèses suivantes :

1. La ration est caractérisée par cinq teneurs en nutriments, soit la protéine digestible au niveau fécal, l'amidon total, les sucres totaux, et les lipides et les fibres digestibles. L'amidon et les sucres sont considérés digestibles à 100% ce qui explique l'utilisation des teneurs brutes. Ces deux nutriments sont considérés séparément puisque leur rendement énergétique est différent (NOBLET et al, 1989, 1994a).
2. Trois fonctions métaboliques sont considérées dans notre modèle pour représenter les différentes efficacités d'utilisation de l'énergie. Ces fonctions sont l'entretien énergétique de l'animal, la rétention protéique et la rétention de lipides (figure 1). L'utilisation de chacun des nutriments pour chacune de ces fonctions métaboliques est caractérisée par un rendement spécifique. Puisque nous ne considérons pas la digestion comme une fonction métabolique, le coût de la digestion des nutriments est inclus dans le coût des autres fonctions métaboliques représentées.
3. En accord avec les principes de l'EN, le besoin d'entretien représente la production de chaleur de l'animal à jeun et elle est calculée dans le modèle comme étant 0.748 MJ/kg<sup>0.60</sup> (NOBLET et al, 1989). L'utilisation de l'exposant 0.60 semble préférable pour représenter l'évolution de la production de chaleur à jeun du porc en croissance.
4. Les lipides digestibles de la ration ainsi qu'une partie de la protéine digestible peuvent être directement retenus sous forme de lipides et de protéine corporelles, respectivement. La protéine est retenue avec un certain coût énergétique, qui est comblé par le compartiment d'équivalents glucose (voir figure 1). Dans ce contexte, l'équivalents glucose utilisé pour déposer la protéine corporelle représente un coût énergétique et non un rendement comme les autres utilisations des nutriments.
5. Les autres nutriments digestibles sont orientés vers deux compartiments métaboliques intermédiaires avant d'être utilisés pour les différentes fonctions métaboliques. Ces intermédiaires sont un compartiment d'équivalents glucose (GLU) et un compartiment d'acides gras volatils (AGV). Ces deux compartiments ne sont pas l'équivalent direct des pools de ces nutriments dans le sang, car une certaine partie des nutriments digérés est utilisée par la paroi intestinale. Ainsi, les compartiments simulés sont vraisemblablement plus grands que les compartiments correspondants au niveau sanguin, puisqu'ils sont formés par les nutriments ayant disparu de la lumière intestinale, sans tenir compte d'un prélèvement par la paroi de l'intestin.
6. La protéine digestible non retenue est dégradée pour former des équivalents glucose. Pour l'amidon, quatre pourcent est fermenté (GRAHAM et al, 1985) pour former des

Figure 1- Schéma du modèle d'énergie nette



AGV et le reste est converti en équivalents glucose. Les sucres et l'amidon sont dirigés séparément vers le compartiment de glucose puisqu'ils ont des rendements énergétiques différents. Les fibres pour leur part sont entièrement utilisées pour former des AGV. Un rendement spécifique caractérise chacun des flux de nutriments digestibles vers un compartiment intermédiaire.

7. Afin de simplifier le modèle, nous considérons que les AGV sont entièrement utilisés pour combler le besoin d'entretien de l'animal, même si cette hypothèse peut être partiellement en désaccord avec la littérature (LATYMER et LOW, 1984). Par ailleurs, il est supposé dans le modèle que les lipides alimentaires sont entièrement utilisés pour le dépôt de lipides, ce qui correspond probablement à leur utilisation la plus efficace. Le glucose de son côté est orienté vers chacune des fonctions métaboliques selon les besoins des animaux. Ainsi, il est utilisé d'abord pour combler le besoin d'entretien qui n'a pas été satisfait par les AGV, ensuite pour retenir des protéines et finalement, pour déposer du gras. Notons que dans l'optique de la simulation de la croissance du porc, l'utilisation d'un ratio minimal entre lipides et protéines retenus est fréquente. Un apport énergétique limitant le dépôt de protéine fait que la répartition du glucose entre la rétention protéique et la rétention lipidique soit modulée par ce ratio.

8. Les teneurs énergétiques des nutriments considérées sont les suivantes : protéine, 23,7 ; lipides, 39,6 ; glucides, 15,7 (MJ/kg).

## 2. ESTIMATION DES PARAMÈTRES DU MODÈLE

Afin de diminuer le nombre de paramètres à estimer, nous considérons que le rendement énergétique de l'amidon digestible pour donner des équivalents glucose est de 100% et celui des fibres et de l'amidon fermentés en AGV est de 73% (MULLER et KIRCHGESSNER, 1986). Les autres paramètres du modèle sont estimés à l'aide d'un algorithme d'optimisation non linéaire (SAS, 1985). Cette méthode d'optimisation vise à minimiser la somme des carrés des différences entre les rétentions lipidiques observées par NOBLET et al (1989) et celles prédites par le modèle. Pour la détermination de ces paramètres, la rétention protéique et la production de chaleur à jeun sont supposées égales aux valeurs observées par NOBLET et al (1989). Les paramètres ainsi obtenus sont présentés au tableau 1.

Le rendement du glucose pour couvrir le besoin d'entretien dépasse 100% lorsque ce paramètre n'est pas borné durant l'optimisation. Ce résultat ne peut pas s'expliquer du point de vue biologique mais il est le résultat des propriétés

mathématiques du modèle. La valeur de 81% obtenue dans cette étude pour l'efficacité de l'utilisation du glucose pour la rétention de lipides est proche de celle rapportée (75 à 77%) par MULLER et KIRCHGESSNER (1986). Le rendement de la protéine pour déposer du gras rapporté par MULLER et KIRCHGESSNER (1986) est de 66% alors que la valeur obtenue ici est de 49% ( $0,5599 \times 0,8732 \times 100$ ). Le rendement des lipides alimentaires pour déposer des lipides corporels rapporté par MULLER et KIRCHGESSNER (1986) est de 86%, ce qui est inférieur à notre valeur de 96%. Cette dernière est très élevée et est égale à la valeur théorique maximale rapportée par MULLER et KIRCHGESSNER (1986). Concernant le rendement de l'utilisation de l'énergie des AGV pour le dépôt de lipides, il n'est pas un paramètre direct du modèle actuel. Cependant, un rendement équivalent peut être calculé en considérant que le glucose épargné lorsque l'entretien est comblé par les AGV est utilisé pour déposer des lipides. Le rendement des AGV pour la rétention lipidique ainsi calculé est de 63% ( $0,7264/1 \times 0,8732 \times 100$ ) ce qui est près de la valeur expérimentale de 60% rapportée par MULLER et KIRCHGESSNER (1986). Finalement, le rendement des AGV pour l'entretien est de beaucoup inférieur à celui du glucose (73%). Nous pouvons comparer cette valeur à l'efficacité théorique relative des AGV par rapport au glucose pour produire de l'ATP, et qui est égale à 87% (MULLER et KIRCHGESSNER, 1986).

### 3. ÉVALUATION DU MODÈLE

#### 3.1. Validité des paramètres obtenus

Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) de la régression entre valeurs prédites et observées est de 0,90, la pente de l'équation de régression est de 0,90, soit voisine de 1, et l'ordonnée à l'origine ne diffère pas significativement de zéro ( $p > 0,05$ ). Conséquemment, le modèle représente bien la variabilité entre les rations et donne de bonnes prédictions. Une autre évaluation de la qualité de l'ajustement a été obtenue en calculant les coefficients de l'équation de prédiction EN66 de NOBLET et al (1989), mais en utilisant les teneurs en énergie nette des rations prédites par le modèle au lieu des valeurs observées. Les coefficients obtenus sont à peu de choses près identiques à ceux publiés, indiquant que pour des animaux de composition et croissance similaires à ceux utilisés par NOBLET et collaborateurs, le modèle et l'équation EN66 donne des résultats similaires.

#### 3.2. Qualité des prédictions du modèle

La qualité des prédictions du modèle est évaluée dans cette section en comparant les prédictions du modèle avec des données expérimentales différentes de celles utilisées pour obtenir les paramètres du modèle. Malheureusement, peu de données sont disponibles dans la littérature et seulement des données provenant du même laboratoire que celles ayant servi à déterminer les paramètres du modèle ont été utilisées. Ces données concernent les bilans énergétiques de 21 rations mesurés chez des porcs d'environ 43 kg. Elles nous ont été fournies par le Dr. Jean NOBLET et font parties

**Tableau 1** - Paramètres du modèle d'énergie nette obtenus par optimisation non linéaire

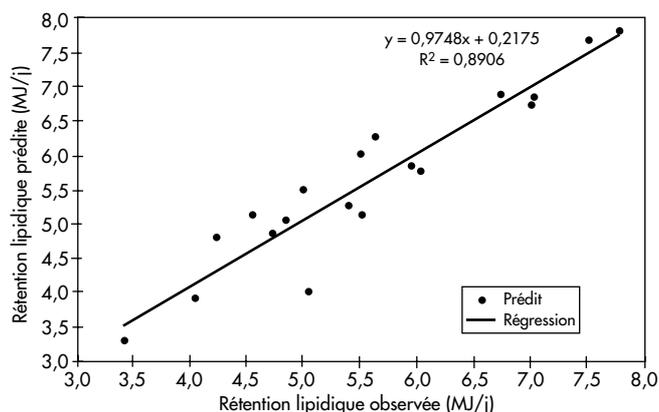
Paramètre <sup>1</sup>	Valeur	Intervalle de confiance (95%)	
		Bas	Élevé
AGV_ENT	0,7264	0,4643	0,9886
PD_GLU	0,5599	0,4004	0,7193
SUC_GLU	0,8139	0,6495	0,9782
GLU_ENT <sup>2</sup>	1,0000	-	-
GLU_PR	0,8606	0,5969	1,1243
GLU_LR	0,8732	0,7831	0,9633
LIP_LR	0,9619	0,8482	1,0756

<sup>1</sup> Voir figure 1 pour la signification des paramètres

<sup>2</sup> La borne imposée à ce paramètre empêche le calcul de l'intervalle de confiance.

des rations étudiées dans NOBLET et al (1994a,b). La comparaison entre les valeurs prédites et observées est présentée à la figure 2. Comme lors de l'estimation des paramètres, la qualité des prédictions est évaluée par la régression linéaire qui exprime les valeurs prédites en fonction des valeurs observées. Le coefficient de détermination obtenu est de 0,89, ce qui est relativement élevé alors que la pente est de 0,97. Ainsi, comme lors de l'estimation des paramètres, le modèle représente bien la variabilité occasionnée par les différentes rations et donne de bonnes prédictions.

**Figure 2** - Graphique de la rétention lipidique simulée en fonction de la rétention observée pour les 21 aliments ayant servi à la validation



#### 3.3. Comparaison du modèle proposé avec un modèle traditionnel d'énergie digestible

Il est essentiel de vérifier que le modèle proposé est avantageux par rapport à un système traditionnel basé sur l'ED. Pour ce faire, un modèle d'ED a été défini comme suit : l'EM ingérée est calculée en soustrayant à l'ED ingérée l'énergie

perdue dans l'urine. Les pertes énergétiques urinaires sont calculées en attribuant un coût de 7.2 MJ par kg de protéine déaminée (WHITTEMORE et FAWCETT, 1976). Par la suite, l'EM nécessaire à l'entretien de l'animal est estimée par une fonction du poids. L'EM disponible après avoir couvert le besoin d'entretien sert à retenir des protéines et des lipides avec deux efficacités indépendantes. Les paramètres de ce modèle (2 pour l'entretien et 2 efficacités) sont estimés de la même façon que ceux du modèle proposé et en utilisant les mêmes données (NOBLET et al, 1989).

Le modèle d'ED ainsi obtenu prédit moins bien que celui basé sur l'EN les rétentions lipidiques observées par NOBLET et al (1989). En effet, la régression qui exprime les valeurs prédites en fonctions des valeurs observées donne un R<sup>2</sup> inférieur (0,78) à celui obtenu avec le modèle d'énergie nette, une pente qui s'éloigne de l'unité (1,27) et un ordonné à l'origine qui diffère significativement de zéro ( $p > 0,01$ ). De même, l'utilisation du modèle basé sur l'ED pour prédire les rétentions lipidiques des 21 rations ayant servi à valider le modèle d'EN donne de moins bonnes prédictions que ce dernier. Ainsi, la régression exprimant les valeurs prédites en fonctions des valeurs observées donne un R<sup>2</sup> de 0,86, une pente de 0,80 et un ordonné à l'origine significativement différent de zéro ( $p > 0,01$ ).

### 3.4. Incorporation du modèle d'énergie nette dans un modèle de croissance

L'incorporation du modèle d'énergie nette dans un modèle de croissance permet de vérifier si des conditions particulières de simulation ne conduisent pas à des prédictions aberrantes. À cette fin, nous examinons la valeur des différents flux du modèle. Nous pouvons ainsi nous assurer que ceux-ci conservent des valeurs positives dans toutes les conditions de simulations, et en particulier dans des conditions extrêmes.

L'analyse des flux d'énergie se fait en simulant la croissance de 20 à 130 kg de poids vif. Les paramètres d'évaluation

sont les quantités d'énergie transférées entre les différents éléments du modèle. Pour chaque paramètre, nous étudions sa moyenne et ses valeurs maximales et minimales obtenues tout au long de la croissance. Pour représenter des conditions de simulation très diverses, nous utilisons 5 types génétiques et les 41 rations expérimentales de NOBLET et al. (1989). Un type génétique est caractérisé par une courbe d'ingestion et une courbe de potentiel de rétention protéique telles que décrites par POMAR (1995) et dont les paramètres ont été caractérisés récemment dans notre centre de recherche. Les types génétiques extrêmes sont déterminés artificiellement en majorant de plus ou moins 20% les paramètres de ces courbes qui déterminent leur amplitude. Nous obtenons ainsi un niveau bas et un niveau élevé pour le potentiel de rétention protéique et pour l'ingestion. En combinant les potentiels de rétention protéique bas et élevé avec les niveaux bas et élevé d'ingestion, nous obtenons quatre types génétiques extrêmes.

Le modèle de croissance utilisé est dynamique et il est une version modifiée d'un modèle précédent (POMAR, 1995). Au terme de chaque jour de simulation, les constituants chimiques totaux de l'animal (protéines, gras, cendres et eau), les flux et les teneurs en EN sont calculés. La teneur en EN de la ration est calculée par la somme de l'énergie retenue sous forme de protéine et de lipides plus celle de la chaleur produite à jeun, l'ensemble divisé par la quantité de matière sèche ingérée.

La moyenne, le coefficient de variation (CV) et les valeurs minimales et maximales des flux et des teneurs en énergie nette simulés sont présentés dans le tableau 2. Les valeurs minimales sont toutes supérieures à zéro ce qui indique qu'aucune des conditions de simulations n'a produit de flux négatifs. Le modèle actuel semble donc adéquat pour faire face à différentes conditions de croissance des porcs. Un flux négatif aurait indiqué l'insuffisance d'un nutriment pour combler une fonction métabolique dans certaines conditions de simulation et par conséquent, le système proposé serait inadéquat pour représenter ces conditions.

**Tableau 2** - Caractéristiques des teneurs en énergie nette et des flux prédits lors des 205 simulations

Flux (MJ/jour)*	Moyenne	C.V. (%)	Minimum	Maximum
(1) Glucose par PD	3.4	48.4	0.5	9.9
(2) Protéine retenue	2.0	46.2	0.1	4.0
(3) Glucose par amidon	14.4	33.1	3.8	29.1
(4) Glucose par sucres	1.6	66.3	0.2	6.4
(5) Amidon fermenté	<b>0.6</b>	<b>33.1</b>	<b>0.2</b>	<b>1.2</b>
(6) Fibres fermentées	4.6	35.0	0.9	9.2
(7) AGV produits	3.8	33.7	0.8	7.4
(8) Entretien par AGV	2.8	33.7	0.6	5.3
(9) Entretien par glucose	7.1	32.8	2.5	12.2
(10) LR par LipAl	2.1	85.9	0.2	9.8
(11) LR par glucose	9.2	49.8	0.9	21.6
(12) Glucose pour PR	1.8	46.2	0.1	3.5
<b>Teneur EN (MJ/kg m.s.)</b>	10.9	8.3	8.5	13.3

\* signification des abréviations : PD = protéine déaminée, AGV = acides gras volatils, LR = lipides retenus, PR = protéine retenue, LipAl = lipides de l'aliment

Comme le démontre les coefficients de variation élevés, tous les flux varient substantiellement. Ces variations sont occasionnées par la composition de la ration, le génotype et le stade physiologique de l'animal. Pour une même simulation, les CV demeurent élevés (>20%). La teneur en EN varie également avec les conditions de simulation et augmente linéairement avec le poids de l'animal ( $p > 0.001$ ). Ceci s'explique par le fait que la rétention protéique est de moins en moins importante comparativement à la rétention lipidique. Etant donné que cette dernière est plus efficace énergétiquement que les autres fonctions métaboliques, ceci explique le meilleur rendement énergétique de la ration avec l'augmentation du poids de l'animal. Ces résultats démontrent que les valeurs énergétiques d'un nutriment et d'un aliment peuvent varier selon les conditions d'alimentation, le génotype et les conditions d'élevage.

## CONCLUSION

Le système d'EN développé dans cette étude permet de prédire l'effet d'une modification de la composition en nutriments de la ration, du niveau d'alimentation, du stade physiologique et/ou du potentiel génétique de croissance protéique sur les dépôts en protéine et en lipides des porcs en croissance. Le modèle a été calibré et validé sur la base des prédictions de rétention lipidiques pour des expériences ayant mesuré simultanément la production de chaleur à jeun

et les rétentions protéiques et lipidiques. Les prédictions du modèle semblent satisfaisantes à en juger par les caractéristiques des droites de régression reliant les valeurs prédites et observées. La comparaison de la qualité des prédictions du modèle à celle obtenue avec un modèle basé sur l'ED démontre la supériorité du système d'EN pour prédire l'efficacité de l'énergie des rations riches en protéines, lipides ou fibres. L'évaluation du modèle de croissance intégrant le système d'EN proposé montre qu'il peut simuler des conditions extrêmes de croissance sans violer son intégrité. Les variations des différents flux occasionnées par les conditions de simulation montrent que ces dernières influencent le rendement énergétique des nutriments. Ainsi, la valeur énergétique nette d'une ration, telle que prédite par le système d'EN, dépend non seulement de sa composition en nutriments mais aussi des caractéristiques de l'animal.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier grandement le Dr Jean NOBLET pour ses commentaires et pour les précieuses données qu'il nous a fait parvenir ainsi que le Dr Jean-François BERNIER pour ses précieux commentaires. Cette étude a été réalisée dans le cadre du développement de Porc Expert 2.0 (logiciel de modélisation de la croissance des porcs charcutiers). Porc Expert 2.0 a été développé en collaboration avec Techna Nutrition Animale et Génétiporc.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GRAHAM H., HESSELMAN K., AMAN, P., 1985. In «Proc. III Intern. Seminar on digestive physiology in the pig.» A. Just, H. Jorgensen et J.A. Fernandez eds., Copenhagen, 401 p.
- JUST A., 1982. *Livest. Prod. Sci.* 8, 541-555.
- LATYMER E.A., LOW A.G., 1984. *Proc. Nutr. Soc.* 43, 12A.
- MULLER H. L., KIRCHGESSNER M., 1986. *Pigs news and information*, 7, 419-424.
- NOBLET J., FORTUNE H., DUBOIS S., HENRY Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA éd., Paris, 106 p.
- NOBLET J., FORTUNE H., SHI X.S., DUBOIS S., 1994a. *J. Anim. Sci.* 72, 344-354.
- NOBLET J., SHI X.S., DUBOIS S., 1994b. *J. Anim. Sci.* 72, 648-657.
- MOUGHAN P.J., SMITH W.C., 1984. *N.Z.J. Agric. Sci.* 27, 341-347.
- POMAR C., HARRIS D.L., MINVIELLE F., 1991. *J. Anim. Sci.* 69, 1468-1488.
- POMAR C. 1995. In «Animal Science Research and Development: Moving Toward a New Century» M. Ivan, editor. Ottawa, 361-375.
- SAS, 1985. *User's Guide : Statistics.* SAS Inst., Cary, NC.
- WHITTEMORE C.T., FAWCETT R.H., 1976. *Anim. Prod.* 22, 87-96.