

InraPorc : un outil d'aide à la décision pour l'alimentation des truies reproductrices

Jean-Yves DOURMAD, Michel ÉTIENNE, Jean NOBLET, Alain VALANCOGNE, Serge DUBOIS, Jaap VAN MILGEN

INRA - UMR Veau et Porc, 35590 Saint-Gilles

InraPorc : un outil d'aide à la décision pour l'alimentation des truies reproductrices

Les résultats obtenus au cours des deux dernières décennies sur l'utilisation de l'énergie et des acides aminés par la truie reproductrice permettent d'améliorer la détermination des besoins nutritionnels (approche factorielle) et la prédiction de la réponse des animaux aux apports de nutriments (modélisation). Dans le cadre du projet InraPorc, nous avons cherché à intégrer l'ensemble de ces informations dans un modèle, l'objectif de cet article étant d'en décrire les bases. La truie est représentée sous la forme de différents compartiments qui évoluent au cours du cycle de reproduction, et les nutriments constituent des flux, principalement d'énergie métabolisable et d'acides aminés digestibles. Ces nutriments sont utilisés en priorité pour le développement de la portée et la production de lait. Les quantités de protéines et de lipides corporels déposés et/ou mobilisés sont ensuite déterminées et servent à prédire les variations de poids et d'épaisseur de lard dorsal. Les équations présentées peuvent être utilisées pour déterminer par l'approche factorielle les besoins énergétiques et azotés en fonction d'objectifs de production, ou encore pour prédire par la modélisation l'évolution des réserves corporelles en fonction de la stratégie d'alimentation donnée. L'intérêt de ces approches est illustré par quelques exemples.

InraPorc: building a tool for decision making in sow nutrition

Based on the results obtained over the recent years, on energy and amino acid utilization in reproductive sows, it has become possible to improve the determination of nutrients requirements (factorial approach) and the prediction of animal's response to nutrient supply (modeling). The objective of the InraPorc project is to integrate the current state of knowledge in a nutritional model for growing pigs and sows and make it available to end-users. The aim of the present paper is to describe the bases of the sow model. The sow is described as the addition of different compartments that change over the reproductive cycle, while the nutrients are considered as flows of mainly energy and digestible amino acids. These nutrients are used with the first priority for uterine growth and milk production. Subsequently, deposition and/or mobilization of body protein and lipid are determined and used for estimating changes in sow live weight and backfat thickness. From the set of equations given, it is possible to determine energy and protein requirements of sows according to production objectives, or to predict body composition changes for a given feeding strategy. The use of the model is illustrated through some examples.

INTRODUCTION

La reproduction, entre la conception et le sevrage, est un processus complexe donnant la priorité au développement des jeunes, en les protégeant des éventuels stress extérieurs, en particulier des déficits nutritionnels (OLDHAM, 1991). Pour cela, différentes régulations impliquant à la fois les mécanismes d'homéorhèse et d'homéostasie interviennent au cours du cycle de reproduction et influencent l'utilisation des nutriments par l'animal. Les difficultés de reproduction pouvant entraîner une réduction des performances ou conduire à la réforme des truies, sont souvent associées à des variations extrêmes de l'état de leurs réserves corporelles (DOURMAD et al, 1994), même si ce paramètre doit être plutôt considéré comme un indicateur de risques que comme la cause directe des problèmes. Pendant la gestation, il est donc important de constituer des réserves suffisantes pour pallier les éventuels déficits de la lactation suivante, mais pas excessives pour éviter l'apparition de difficultés au moment de la mise bas. Au cours de la lactation, on cherche à faire coïncider au mieux les apports alimentaires aux besoins de production laitière afin d'optimiser la croissance de la portée et de limiter les problèmes de reproduction après le sevrage. Aussi, la conduite alimentaire doit-elle être raisonnée de façon à contrôler les variations d'état corporel de chaque individu au cours de sa carrière. Il s'agit en fait d'assurer en permanence un équilibre entre mobilisation et constitution des réserves corporelles. Pour cela, il faut adapter régulièrement le niveau d'alimentation et la composition de l'aliment en fonction des performances réelles de l'animal et des conditions de logement.

Les résultats obtenus au cours de ces dernières années sur l'utilisation de l'énergie et des acides aminés par la truie gestante ou allaitante, permettent d'améliorer la détermination des besoins nutritionnels en fonction d'objectifs de production (approche factorielle) et la prédiction de la réponse des animaux aux apports de nutriments (modélisation). Dans le cadre du projet InraPorc, nous avons cherché à intégrer l'ensemble de ces informations dans un modèle dont une version informatisée sera disponible en 2005. L'objectif de cet article est de décrire les bases de ce modèle. En effet, comparativement au porc à l'engrais, peu de modèles ont jusqu'à présent été développés pour la truie reproductrice (WILLIAMS et al, 1985 ; DOURMAD, 1987 ; POMAR et al ; 1991 et NRC, 1998).

1. UTILISATION DES NUTRIMENTS PAR LA TRUIE

1.1. Schéma général

Une description simplifiée de l'utilisation des nutriments par la truie reproductrice est présentée à la figure 1. La truie y est schématisée sous la forme de différents compartiments qui évoluent au cours du cycle de reproduction (les protéines, les lipides et l'utérus) et les nutriments sous la forme de flux (l'énergie métabolisable et les acides aminés digestibles). Chez la truie gestante, les dépenses d'entretien et celles associées au développement de la portée et de la mamelle sont prioritaires; viennent ensuite les dépenses liées la constitution des réserves corporelles. Lorsque les apports

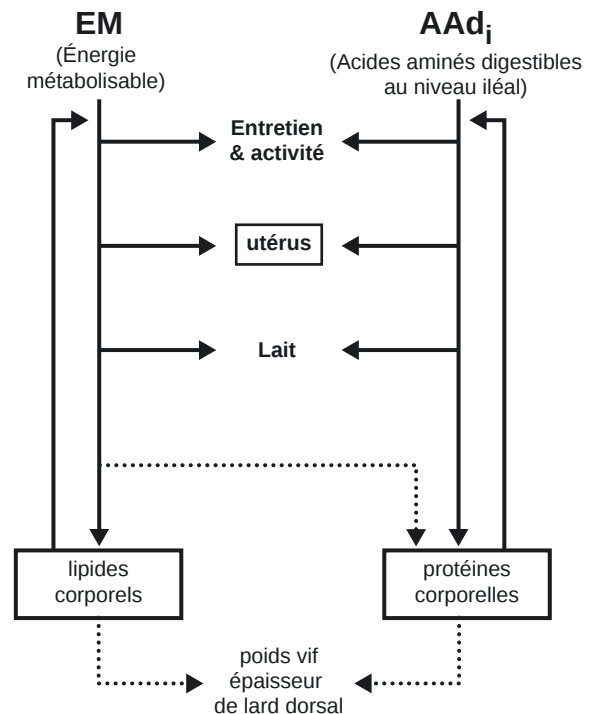


Figure 1 - Représentation schématique de l'utilisation des nutriments par la truie reproductrice

sont insuffisants, la truie mobilise ses propres réserves pour assurer le développement de la portée. Chez la truie allaitante, la couverture des dépenses d'entretien et de production laitière est assurée en priorité, généralement en partie au dépens des réserves corporelles.

A la différence du porc en croissance pour lequel les connaissances permettent de considérer séparément l'énergie des différents nutriments (VAN MILGEN et al, 2005), nous avons préféré conserver pour le moment le concept général d'EM pour la truie reproductrice. Cependant, afin de prendre en compte les variations d'efficacité énergétique nette des régimes, l'EM de l'aliment est corrigée par le coefficient $(EN/EM)/0,74$.

1.2. Utilisation des nutriments par la truie en gestation (tableau 1)

1.2.1. Dépenses d'entretien

En conditions de thermoneutralité et d'activité physique modérée les besoins énergétiques d'entretien (EMe) varient entre 420 et 440 kJ EM/kg $PV^{0,75}$ (NOBLET et al, 1990). Ils ne dépendent pas du stade de gestation lorsqu'ils sont exprimés par kg de poids métabolique (NOBLET et ÉTIENNE, 1987) et les résultats de NOBLET (1990) suggèrent des valeurs similaires chez les truies primipares et multipares. Aussi, nous avons retenu une valeur unique de 440 kJ EM/kg $PV^{0,75}$ pour les besoins énergétiques d'entretien, quel que soit le stade de gestation ou le numéro de portée. Cette valeur correspond à une moyenne de 240 mn/j de temps passé debout. Elle peut être modulée pour tenir compte d'un degré d'activité différent en appliquant un coefficient d'ajustement de $0,30 \text{ kJ.kg } PV^{0,75}.\text{min}^{-1}$.

Tableau 1 - Récapitulatif des différentes équations décrivant l'utilisation des nutriments par la truie en gestation

Utilisation de l'énergie par la truie en gestation	$EM = EM_e + ER_u / k_u + ER_{mf} / k_f + ER_{mp} / k_p$ EM_e : EM pour l'entretien ER_u : énergie retenue dans les contenus utérins, k_u : efficacité d'utilisation de l'EM pour les dépôts utérins ER_{mf} : énergie retenue dans les tissus maternels sous la forme de lipides, k_f : efficacité d'utilisation de l'EM pour les dépôts de lipides ER_{mp} : énergie retenue dans les tissus maternels sous la forme de protéines, k_p : efficacité d'utilisation de l'EM pour les dépôts de protéines
Influence de la température ambiante	<i>Dans des conditions de thermoneutralité</i> $EM_e = 440 \text{ kJ. kg PV}^{-0,75}$ pour une activité modérée (debout 240 mn/j) Activité physique = $0,30 \text{ KJ. kg BW}^{-0,75} \cdot \text{mn}^{-1}$ debout <i>Au dessous de la température critique inférieure (TCI)</i> Pour des truies en loge individuelle la TCI = 20°C la production de chaleur augmente de 15 à 18 kJ.kg. $\text{PV}^{-0,75} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ Pour des truies en loges collectives la TCI = 14°C la production de chaleur augmente de 8 à 10 kJ.kg. $\text{PV}^{-0,75} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
Efficacité d'utilisation de l'EM	$k_u = 0,5$ (efficacité marginale) $k_p = 0,60$ (efficacité pour les dépôts maternels de protéines) $k_f = 0,80$ (efficacité pour les dépôts maternels de lipides) $k_r = 0,75$ (efficacité moyenne pour les dépôts maternels)
Rétention d'énergie dans les contenus utérins et les tissus maternels	Dans les contenus utérins (n = taille de la portée, t : stade de gestation) $\text{Ln}(\text{énergie}) = 11,72 - 8,62 e^{-0,0138 t} + 0,0932 n$ Dans les tissus maternels $ER_{mp} = 23,8 \times 6,25 (NR - NR_c)$ $ER_{mf} = 39,7 \text{ lip}$
Rétention azotée	NR : Rétention totale, NR_c : Rétention dans les contenus utérins $\text{Ln}(6,25 NR_c) = 8,090 - 8,71 e^{-0,0149 t} + 0,0872 n$ <i>Lorsque les apports de protéines ne sont pas limitants</i> $NR = 0,85 (NR_c - 0,4 + 45,9 (t/100) - 105,3 (t/100)^2 + 64,4 (t/100)^3 + \alpha (EM - EM_{es}))$ où $\alpha = 0,571$ en première gestation et 0,366 pour les gestations ultérieures et EM_{es} = besoin d'entretien à la saillie <i>Lorsque les apports d'acides aminés sont pas limitants (lysine)</i> $6,25 NR = (-0,036 \text{ PV}^{0,75} + 0,65 \text{ lysine digestible}) / 0,065$

La température critique inférieure (TCI) pour des truies logées individuellement est d'environ 20-22°C (NOBLET et al, 1989). Elle peut être plus élevée lorsque les conditions de logement sont particulièrement défavorables ou encore chez des truies très maigres (HOVELL et al, 1977). A l'inverse, l'utilisation de paille, le logement en groupe des animaux et un niveau alimentaire élevé s'accompagnent d'une réduction de la température critique (VERSTEGEN et CURTIS, 1988). Dans le modèle, nous avons retenu des TCI de 20 et 14°C respectivement pour les truies élevées individuellement ou en groupe; l'utilisation de paille permet de réduire la TCI d'environ 4°C. En dessous de la TCI, les besoins énergétiques d'entretien augmentent respectivement de 8 et 15 kJ EM. $^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{kg PV}^{-0,75}$ pour les truies logées en groupe ou individuellement.

1.2.2. Croissance utérine et développement des foetus

Le développement des foetus est très lent pendant les deux premiers tiers de la gestation, près des 2/3 de la croissance pondérale étant réalisée au cours des 30 derniers jours.

Différentes relations ont été proposées pour décrire cette croissance en fonction du stade de gestation et de la taille de la portée (NOBLET et al, 1985). En moyenne, sur la base des résultats de DE WILDE (1980) et NOBLET et al (1985), les synthèses dans l'utérus (foetus + placentas + fluides) correspondent à un dépôt de 4,9 MJ d'énergie et 150 g de protéines par kilogramme de foetus à la mise bas. Ces valeurs peuvent être utilisées pour estimer les dépenses énergétiques et protéiques associées au développement des contenus utérins, en relation avec la taille et le poids de la portée. L'efficacité marginale d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la fixation de l'énergie dans les contenus utérins (K_u) est quant à elle évaluée à 48 % (CLOSE et al, 1985 ; NOBLET et ÉTIENNE, 1987).

1.2.3. Croissance maternelle

Pendant la gestation, les apports alimentaires permettent l'accrétion de protéines et de lipides dans les tissus maternels afin de compenser les pertes associées à la lactation précédente et de constituer des réserves pour la lactation suivante.

De plus, le poids à maturité n'étant atteint que vers la quatrième portée, il est nécessaire d'assurer des apports nutritionnels suffisants pour que la truie puisse terminer sa croissance.

Par la méthode factorielle, il est possible de quantifier les besoins énergétiques de la truie en gestation en fonction d'un objectif de gain de poids vif et d'épaisseur de lard dorsal. Ceci est très utile en pratique pour adapter le niveau d'apport énergétique à la quantité de réserves corporelles à constituer et des conditions de logement. Cependant, cette approche ne permet pas de prévoir la réponse effective des animaux en termes de variations de composition corporelle ou de gain de poids. Une approche plus déterministe consiste alors à prédire les dépôts tissulaires en fonction de l'utilisation de l'énergie et des protéines. Comme pour le porc en croissance (VAN MILGEN et al, 2005), l'énergie alimentaire disponible, une fois les besoins prioritaires couverts, est répartie entre les dépôts de protéines et de lipides. La principale difficulté consiste alors à prédire la rétention protéique.

Lorsque les acides aminés ne sont pas limitants, la rétention de protéines dépend de l'apport énergétique et/ou du potentiel maximal de dépôt de protéines de l'animal. WILLIAMS et al (1985) proposaient d'utiliser, comme pour le porc en croissance, une relation de type linéaire-plateau. Mais les résultats expérimentaux chez la truie primipare (ÉTIENNE et al, 1991 ; KING et BROWN, 1993) et chez la truie multipare (DOURMAD et al, 1996) ne mettent pas en évidence l'existence d'un plateau de rétention protéique pour les niveaux habituels d'alimentation. Aussi, nous avons préféré utiliser la relation empirique proposée par DOURMAD et al (1999) qui comporte deux composantes : (i) la rétention azotée dans les contenus utérins (NRu) qui est déterminée à partir des équations proposées par NOBLET (1990) et (ii) la rétention azotée maternelle qui dépend du numéro de por-

tée, du stade de gestation et de l'apport d'énergie au dessus de l'entretien.

La rétention azotée n'est influencée par les apports en acides aminés que lorsque ces derniers sont inférieurs aux besoins. Elle augmente alors linéairement avec l'apport de l'acide aminé limitant jusqu'à un maximum qui dépend du niveau énergétique et du stade de gestation. DOURMAD et ÉTIENNE (2002) ont ainsi déterminé chez la truie en gestation un rendement moyen d'utilisation de la lysine digestible au dessus de l'entretien d'environ 65 %. Les rendements des autres acides aminés n'étant pas disponibles, ils sont estimés à partir de celui de la lysine et du profil de la protéine idéale pour la gestation (tableau 3).

A partir de la rétention azotée, il est possible de prédire la quantité d'énergie déposée sous la forme de protéines dans les tissus corporels (ERmp). Pour déterminer la quantité d'EM correspondante, il reste à préciser les rendements d'utilisation pour les différents dépôts maternels. Les valeurs retenues dans le modèle sont celles mesurées chez le porc en croissance (NOBLET et al, 1999), à savoir respectivement 80 % (k_l) et 60 % (k_{rl}) pour les lipides et les protéines.

1.3. Utilisation des nutriments par la truie en lactation (tableau 2)

1.3.1. Production laitière

L'exportation moyenne de nutriments dans le lait peut être estimée à partir de la croissance des porcelets, à l'aide des équations proposées par NOBLET et ÉTIENNE (1989). En combinant ces équations avec la courbe de lactation proposée par WHITEMORE et MORGAN (1990), il est possible d'estimer l'évolution journalière de l'exportation de nutriments dans le lait au cours de la lactation en fonction de la

Tableau 2 - Récapitulatif des différentes équations décrivant l'utilisation des nutriments par la truie en lactation

Utilisation de l'énergie par la truie en lactation	$EM = EM_e + Elait / k_l - ER_m / k_{rl}$ EM_e : EM pour l'entretien, $Elait$: énergie exportée dans le lait, k_l : efficacité d'utilisation de l'EM pour le lait, ER_m : énergie mobilisée dans les tissus maternels pour la synthèse de lait, k_{rl} : efficacité d'utilisation de l'énergie des réserves pour la synthèse de lait.
EM pour l'entretien	$EM_e = 460 \text{ kJ. kg PV}^{-0,75}$
Efficacité d'utilisation de l'EM	$k_l = 0,72$ $k_{rl} = 0,87$
Exportation d'énergie et d'azote dans le lait	En moyenne en lactation (n = taille de la portée, GMQ : croissance moyenne de la portée, g/j) Energie (kJ/j) = (20,6 GMQ - 376 n) Azote (g/j) = (0,0257 GMQ + 0,42 n) Par jour de lactation (Dlact : durée de la lactation) Energie (kJ/j) = (20,6 GMQ - 376 n) x (2,763-0,014 Dlact) $e^{-0,025t} e^{-(0,5-0,1t)}$ Azote (g/j) = (0,0257 GMQ + 0,42 n) x (2,763-0,014 Dlact) $e^{-0,025t} e^{-(0,5-0,1t)}$
Rétention azotée en lactation	Bilan N = -14,2 + 1,335 lysine digestible - 0,629 Nlait

croissance moyenne de la portée, de sa taille et de la durée de lactation.

1.3.2. Dépenses d'entretien et de production laitière

Pendant la lactation, les dépenses énergétiques d'entretien s'élèvent en moyenne à 460 kJ EM/kg PV^{0,75} (NOBLET et al, 1990) et sont beaucoup moins variables que chez la truie gestante. La température critique inférieure est plus faible (environ 10-15°C), principalement en raison du niveau d'alimentation plus élevé pendant cette période et en pratique, la température est rarement inférieure à cette limite. Les dépenses liées à l'activité sont également plus faibles et moins variables, les comportements stéréotypés étant beaucoup moins fréquents que pendant la gestation.

L'efficacité d'utilisation de l'EM pour la production de lait (k_l) s'élève en moyenne à 72 % (NOBLET et ETIENNE, 1985), les valeurs extrêmes dans la bibliographie allant de 68 à 79 %. L'énergie provenant des réserves corporelles est utilisée avec une efficacité plus élevée (88 % en moyenne). Ceci s'explique par la nature essentiellement lipidique des nutriments mobilisés, ces derniers étant incorporés dans le lait avec une très bonne efficacité métabolique.

Il est plus difficile d'évaluer avec précision les rendements d'utilisation des acides aminés pour la production de lait, dans la mesure où l'on connaît mal la contribution des protéines corporelles à la fourniture d'acides aminés. Aussi, il nous a semblé préférable pour le moment d'utiliser l'équation empirique que nous avons établie expérimentalement pour prédire le bilan azoté de la truie allaitante en fonction des apports de lysine digestible et de la production laitière (DOURMAD et al, 1998). Les relations pour les autres acides aminés sont estimées à partir de celle obtenue pour la lysine et de la composition de la protéine idéale pour la lactation (tableau 3)

Tableau 3 - Profil de composition de la protéine idéale pour la gestation et la lactation

	Gestation	Lactation
Lysine	100	100
Méthionine	28	30
Méthionine + Cystine	65	60
Thréonine	72	66
Tryptophane	20	19
Isoleucine	65	60
Leucine	100	115
Valine	75	85
Phénylalanine	60	60
Phénylalanine+ Tyrosine	100	115
Histidine	30	42
Arginine	-	67

1.3.3. Mobilisation de réserves corporelles

L'importance et la composition des réserves corporelles mobilisées dépendent des déficits nutritionnels. La mobilisation de lipides est prépondérante en situation de déficit énergétique alors que dans le cas d'un déficit en acides aminés

ce sont principalement les muscles qui sont sollicités. Il est cependant vraisemblable que les mobilisations de protéines et d'énergie ne sont pas complètement indépendantes. En particulier, comme le suggèrent POMAR et al (1991), un déficit énergétique peut s'accompagner d'une mobilisation de protéines corporelles même en l'absence de déficit protéique. Il existe très peu d'information sur cette relation entre mobilisation de protéines et de lipides. Dans le modèle du NRC (1998) la nature des tissus mobilisés est estimée selon une relation empirique indépendante de l'apport de nutriments, ce qui ne semble pas complètement satisfaisant. POMAR et al (1991), considèrent quant à eux un rapport minimal protéines/lipides de 1/20. C'est la valeur que nous retiendrons par défaut dans notre modèle.

1.4. Relation entre paramètres corporels et constituants chimiques

En pratique, l'importance des réserves corporelles de la truie peut être estimée à partir de la mesure de l'épaisseur de lard dorsal et du poids vif. Pour cela, nous utiliserons les équations proposées par DOURMAD et al (1998) qui mettent en relation composition chimique (protéines, lipides et énergie) et composition corporelle (poids vif, épaisseur de lard dorsal). Pour le calcul factoriel des besoins, la composition chimique des truies pourra donc être déterminée à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal, alors que dans l'approche de modélisation, ces deux derniers paramètres seront prédits à partir de la teneur corporelle en énergie, en lipides et en protéines (tableau 4).

Tableau 4 - Équations de prédiction de la composition chimique des truies à partir du poids vif vide (PVV, kg) et de l'épaisseur de lard dorsal (P_2 , mm)

Lipides, kg	$= -26,4 + 0,221 \text{ PVV} + 1,331 P_2$
Énergie, MJ	$= -1074 + 13,65 \text{ PVV} + 45,94 P_2$
Protéines, kg	$= 2,28 + 0,178 \text{ PVV} - 0,333 P_2$

1.5. Prise en compte du profil de performance des animaux

Les différentes équations rapportées aux tableaux 1 et 2 sont issues d'expérimentations conduites le plus souvent sur des truies Large White ou croisées Large White x Landrace. On peut raisonnablement penser que les critères concernant l'efficacité d'utilisation des nutriments peuvent être appliqués pour d'autres génotypes. Par contre, il convient d'ajuster certains autres paramètres du modèle en fonction du type génétique ou de la lignée utilisée. Pour cela, il faut disposer d'informations sur le niveau des performances, l'évolution pondérale et la consommation alimentaire des truies, en particulier leur appétit pendant la lactation. La démarche que nous proposons est de « calibrer » par simulations successives quelques paramètres du modèle, de façon à minimiser l'écart entre les valeurs mesurées et prédites pour le poids vif et l'épaisseur de lard dorsal. Pour la gestation, les paramètres qui sont ajustés sont, d'une part, le besoin énergétique d'entretien et, d'autre part, la rétention protéique qui est pondérée pour mieux tenir compte de son évolution avec le numéro de portée. Pour la lactation, la dépense énergétique d'entretien est également modulée ainsi que le contri-

bution minimale des protéines à la couverture du déficit énergétique de lactation. En l'absence d'information sur le génotype utilisé, les paramètres par défaut pourront être utilisés.

2. DÉFINITION DE STRATÉGIES D'ALIMENTATION AU COURS DU CYCLE DE REPRODUCTION

A partir des différentes équations rapportées ci-dessus, il est possible de déterminer par l'approche factorielle les besoins énergétiques et azotés de la truie en fonction d'objectifs de production, ou encore de prédire par la modélisation l'utilisation des nutriments et l'évolution des réserves corporelles pour une stratégie d'alimentation donnée (DOURMAD et al, 2001). Nous allons illustrer l'intérêt de ces deux approches à l'aide de quelques exemples.

2.1. Évaluation factorielle des besoins en fonction d'objectifs de production

2.1.1. Évolution des besoins en fonction du numéro de portée

A titre d'exemple, les besoins moyens en énergie et en acides aminés ont été calculés en fonction du numéro de portée pour un élevage produisant 25 porcelets par truie et par an avec respectivement 12,5 et 10,8 porcelets nés et sevrés par portée (tableau 5). La consommation moyenne d'aliment de lactation est supposée de 6,25 kg/j. Pour la période de gestation, on constate que les besoins journaliers en énergie augmentent avec le numéro de portée jusqu'à la troisième gestation et qu'ils restent stables par la suite. Il en est de même pour les besoins journaliers en acides aminés (lysine). Par contre, lorsque ces besoins sont exprimés en teneur dans l'aliment, ils diminuent avec le numéro de portée. Pendant la lactation, les besoins énergétiques augmen-

tent également avec le numéro de portée. En moyenne, l'appétit des truies permet de couvrir 83 % des besoins, ce taux étant nettement plus faible pour les truies primipares (75 %). Comme pour la gestation, le besoin en acides aminés, exprimé en teneur dans l'aliment, est le plus élevé en première et en seconde portée.

2.1.2. Facteurs de variation des besoins

Le calcul factoriel permet de prendre en compte l'influence de différents facteurs de variation sur les besoins, en particulier les conditions de logement, le niveau des performances et l'état des réserves corporelles. On peut ainsi dans l'exemple précédent, estimer l'influence du logement en plein air des truies sur leurs besoins de gestation en période hivernale (10°C). On constate que dans ces conditions, le besoin énergétique est augmenté d'environ 25 % alors que l'inverse est observé pour le besoin relatif en acides aminés qui diminue de 20 % environ (tableau 5). Lorsque la croissance de la portée pendant la lactation est augmentée (3,0 vs 2,6 kg/j, soit 15 %) les besoins en énergie et en acides aminés s'accroissent d'environ 10 %.

2.2. Modélisation de stratégies d'alimentation à moyen ou à long terme

En complément de l'approche factorielle, l'utilisation du modèle de simulation permet de définir des stratégies d'alimentation à moyen ou à long terme. A titre d'exemple, nous avons simulé la dynamique de l'utilisation des nutriments chez la truie primipare ou multipare gestante (tableau 6). On peut constater que pour un même apport énergétique (30 MJ/j), les truies primipares réalisent un gain de poids net beaucoup plus important que les truies multipares, principalement en raison d'un besoin d'entretien inférieur. La dif-

Tableau 5 - Évaluation des besoins en énergie et en lysine en fonction du numéro de portée (1)

Portée	1	2	3	4	5	6
Gestation (thermoneutralité)						
Besoin en énergie, MJ/j	33,5	37,2	37,5	36,6	36,3	36,0
Besoin en lysine digestible g/j	13,5	12,9	12,2	11,8	11,6	11,4
g/ kg aliment	5,14	4,41	4,16	4,11	4,06	4,03
Lactation (2,6 kg/j GMQ portée)						
Energie, MJ/j						
Besoin	90,1	94,9	100,5	101,6	101,0	99,3
Consommation	68,1	78,8	86,2	86,2	86,2	86,2
Consommation, % besoin	75,6	83,0	85,8	84,8	85,3	86,8
Besoin en lysine digestible g/j	43,3	44,6	46,5	46,5	45,8	44,9
g/ kg aliment	8,3	7,4	7,0	7,0	6,9	6,8
Variation des besoins (%)						
Gestation (plein-air, 10°C)						
énergie	+24 %	+25 %	+27 %	+29 %	+30 %	+31 %
teneur en lysine digestible,	-19 %	-20 %	-21 %	-22 %	-23 %	-24 %
Lactation (3,0 kg/j GMQ portée)						
énergie	+11 %	+10 %	+10 %	+10 %	+10 %	+10 %
teneur en lysine digestible	+10 %	+10 %	+10 %	+10 %	+10 %	+10 %

(1) calculé pour un élevage produisant en moyenne 25 porcelets par truie et par an, avec un poids des porcelet au sevrage de 8 kg (2,600 kg/j de croissance de portée)

Tableau 6 - Simulation de l'utilisation des nutriments par la truie primipare et la truie multipare en gestation, prédiction des variations de composition corporelle en fonction de l'apport d'énergie

	Primipare	Multipare	
Énergie, MJ EM/j	30	30	35
Composition corporelle initiale			
- Poids vif, kg	140	230	
- Épaisseur de lard dorsal, mm	15	16	
Taille de portée prévue	11,0	12,5	
EM pour l'entretien, MJ/j	20,7	28,5	29,6
Énergie retenue dans la portée, MJ/j	0,5	0,6	0,6
Énergie retenue dans les tissus maternels, MJ/j	6,2	0,5	3,2
Rétention protéique (g/j)			
- portées	15,3	17,4	17,4
- tissus maternels	55,6	26,5	36,2
Gain de poids total, kg	58,9	33,0	48,3
Gain de poids net, kg	40,9	11,0	27,1
Variation d'épaisseur de lard dorsal, mm	3,1	-2,4	2,4

férence est encore plus marquée pour l'épaisseur de lard dorsal, puisqu'elle diminue de plus de 2 mm chez les truies multipares, alors qu'elle augmente de 3 mm chez les truies primipares. Lorsque l'on s'intéresse à la cinétique des dépôts dans les différents tissus, on constate que les réserves énergétiques sont surtout constituées au cours de la première moitié de la gestation (figure 2). Chez la truie multipare recevant 30MJ d'EM/j, les réserves lipidiques constituées pendant les 60 premiers jours de gestation sont mobilisées pendant la seconde moitié de la gestation, le bilan global étant même négatif en fin de gestation. Lorsque l'apport d'énergie est plus élevé (35 MJ d'EM/j), les réserves lipidiques se stabilisent après 70 jours de gestation et ne commencent à être mobilisées qu'au cours de la dernière semaine.

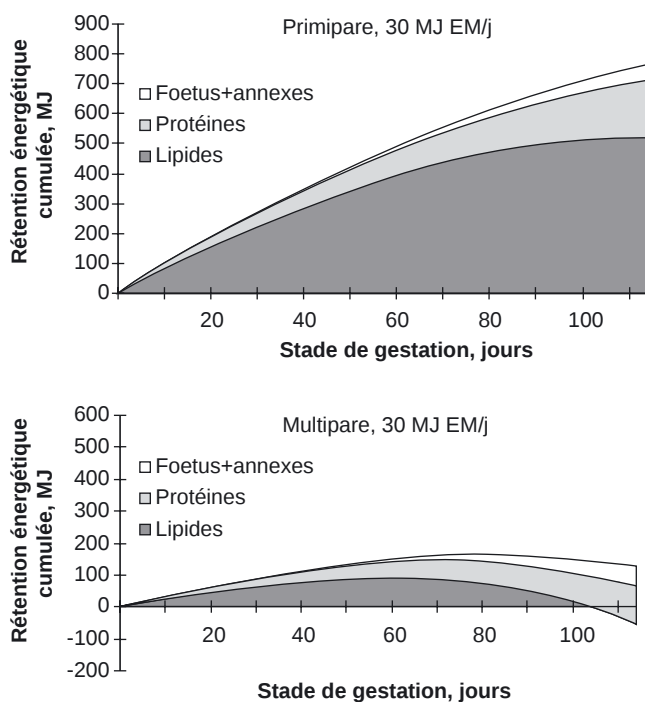


Figure 2 - Simulation de l'évolution de la rétention énergétique cumulée chez la truie primipare ou multipare recevant 30 MJ EM/j

On peut également utiliser cette approche pour déterminer les stratégies de niveau alimentaire et de composition des régimes à adopter sur plusieurs cycles en fonction, par exemple, du niveau spontané d'ingestion pendant la lactation. Pour cela, nous avons envisagé deux hypothèses de consommation spontanée pendant la lactation (B:5,0 et H:7,0 kg/j en moyenne). Les niveaux d'alimentation pendant la gestation sont déterminés de façon à permettre à la truie d'atteindre son poids de maturité au cycle 4 et à maintenir dans tous les cas l'épaisseur de lard dorsal au dessus de 13 mm, afin de limiter les problèmes de reproduction.

L'évolution de l'épaisseur de lard dorsal et du poids vif pour ces deux stratégies d'alimentation est rapportée à la figure 3. Pendant la lactation, la perte de poids est nettement plus élevée pour les truies B, mais est compensée par une prise de poids plus importante au cours de la gestation. Ce phénomène est encore accentué pour l'épaisseur de lard dorsal. En effet, malgré une augmentation plus marquée pendant la gestation, l'épaisseur de lard dorsal est nettement plus faible au sevrage chez les truies B (13 versus 17 mm). Cette situation accroît les risques d'apparition de troubles de la reproduction au moment du sevrage chez ces animaux. Mais il est difficile de constituer des réserves supplémentaires sans augmenter les risques de problèmes à la mise bas. En moyenne sur le cycle, la consommation journalière d'aliment

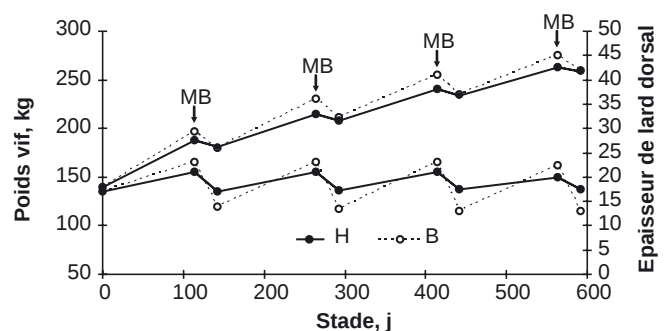


Figure 3 - Influence du niveau de consommation au cours de la lactation (B : 5,0 kg/j, H : 7,0 kg/j) sur l'évolution du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal au cours de 4 cycles successifs

est la même dans les deux stratégies (3,5 kg/j). C'est donc la répartition entre la gestation et la lactation qui change. Les truies B consomment davantage pendant la gestation (3,2 kg/j contre 2,7 kg/j pour les truies H) et moins pendant la lactation. La nature des régimes est également influencée. Le besoin relatif en lysine est beaucoup plus élevé lorsque l'appétit est faible en lactation (0,95 % contre 0,75 % au cycle 1), alors que les valeurs sont très voisines pour la période de gestation. Ces différentes simulations confirment bien le rôle central joué par le niveau de consommation de lactation dans la définition d'une stratégie d'alimentation sur l'ensemble du cycle, aussi bien sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif.

CONCLUSIONS

Les connaissances acquises au cours de ces dernières années nous ont permis de beaucoup améliorer les stratégies d'alimentation de la truie reproductrice.

Par l'approche factorielle il est possible d'adapter précisément les recommandations en fonctions des conditions d'élevage, des objectifs de performances et de l'historique de l'animal. En complément, la modélisation est intéressante pour simuler l'influence à plus long terme d'une modification de la conduite alimentaire ou des conditions de logement. Elle permet également de donner une vision plus dynamique de la nutrition et des interactions entre fonctions. La mise en œuvre en pratique de ces concepts est grandement facilitée par le développement d'outils informatisés qui permettent de s'adapter à la situation concrète des élevages tout en intégrant les équations parfois complexes décrites dans ce document.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la société Ajinomoto Eurolysine SAS pour leur soutien de ce projet.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CLOSE W.H., NOBLET J., HEAVENS R.P., 1985. *Br. J. Nutr.*, 53, 267-279.
- DE WILDE R.O., 1980. *Livest. Prod. Sci.*, 7, 505-510.
- DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., 2002. *J. Anim. Sci.*, 80, 2144-2150.
- DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., NOBLET J., 1996. *J. Anim. Sci.*, 74, 2211-2219.
- DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., NOBLET J., CAUSEUR D., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 255-262.
- DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., PRUNIER A., NOBLET J., 1994. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 87-97.
- DOURMAD J.Y., NOBLET J., ÉTIENNE M., 1998. *J. of Anim. Sci.*, 76, 542-550.
- DOURMAD J.-Y., NOBLET J., PÈRE M.C., ÉTIENNE M., 1999. *Mating, Pregnancy and Pre-natal Growth In I. Kyriazakis (Ed) A quantitative biology of the pig*, CAB, 129-153.
- DOURMAD, J.Y., 1987. *Journées Rech. Porcine en France*, 19, 203-214.
- ÉTIENNE M., 1991. *Journées Rech. Porcine en France*, 23, 69-74.
- HOVELL F.D. de B., GORDON J.G., MAC PHERSON R.M., 1977. *Journ. Agric. Sci.*, 89, 523-533.
- KING R.H., BROWN W.G., 1993. *J. Anim. Sci.*, 71, 2450-2456.
- NOBLET J., KAREGE C., DUBOIS S., VAN MILGEN J., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77, 1208-1216.
- NOBLET J., 1990. *Bases d'estimation du besoin énergétique de la truie au cours du cycle de reproduction*. Ph.D. Thesis, University Pierre et Marie Curie Paris VI, Paris, France.
- NOBLET J., CLOSE W.H., HEAVENS R.P., BROWN D., 1985. *Br. J. Nutr.*, 53, 251-265.
- NOBLET J., DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., 1990. *J. Anim. Sci.*, 68, 562-572.
- NOBLET J., DOURMAD J.Y., LE DIVIDICH J., DUBOIS S., 1989. *Livest Prod Sci.*, 21, 309-324.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1987. *J. Anim. Sci.*, 64, 774-781.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1987. *Livest. Prod. Sci.*, 16, 243-257.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1989. *J. Anim. Sci.*, 67: 3352-3359.
- NOBLET J., SHI X.S., DUBOIS S., 1993. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 127-136.
- NRC, 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. Tenth Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC.
- OLDHAM, J.D., 1991. *Nutrition abstract and review*, 61, 683-722.
- POMAR C., DEWEY L.H., MINVIELLE F., 1991. *J. Anim. Sci.*, 69, 1489-1502.
- VAN MILGEN J., NOBLET J., VALANCOGNE A., DUBOIS S., DOURMAD J.Y., 2005. *Journées Rech. Porcine*, 37, 291-298.
- VERSTEGEN M.W.A., CURTIS S.E., 1988. *Journ. Agri. Sci.*, 66, 2865-2875.
- WHITTEMORE C.T., MORGAN C.A., 1990. *Livest. Prod. Sci.*, 26, 1-37.
- WILLIAMS I.H., CLOSE W.H., COLE D.J.A., 1985. *Strategies for sow nutrition: predicting the response of pregnant animals to protein and energy intake*. In: Cole, D.J.A. (ed) *Recent advances in animal nutrition*, Nottingham, pp.133-147.