

Apports énergétiques et croissance du porc

La croissance du porc varie en fonction du type d'animal (type génétique, sexe...) et selon les conditions d'élevage, notamment l'alimentation. Connaître les variations de la composition du gain de poids selon les apports alimentaires permet de mieux ajuster les rations, qui constituent une part importante du coût de production, tout en maîtrisant la composition corporelle et donc la qualité de la carcasse.

Les principaux objectifs de l'élevage du porc à l'engrais sont d'une part de satisfaire la demande du marché et d'autre part de maximiser la marge par place d'élevage et par an. Ce second point dépend entre autres des performances zootechniques et des caractéristiques des animaux à l'abattage : gain moyen quotidien de poids vif, indice de consommation, poids à l'abattage, rendement de carcasse et taux de muscle. L'optimum économique passe donc par un équilibre à trouver entre ces caractéristiques. Or, le porc est un animal encore réputé pour son comportement hyperphagique qui conduit à un développement important de l'adiposité corporelle, malgré un ajustement partiel de sa consommation spontanée aux teneurs en énergie, en protéines et en acides aminés des aliments (Henry 1985). Compte tenu de cette

tendance à l'excès d'adiposité de la carcasse, de la faible valeur commerciale du gras déposé et de son coût alimentaire élevé, un rationnement alimentaire est pratiqué dans la plupart des élevages. Si, d'une façon générale, la restriction alimentaire conduit à une moindre adiposité corporelle à l'abattage et donc à une valeur commerciale plus élevée, les conséquences du rationnement sur la croissance sont mal connues. Ainsi, le rationnement appliqué peut être justifié ou non au regard des caractéristiques intrinsèques de chaque type de porcs.

L'optimisation de l'utilisation des nutriments apportés au porc en croissance dépend de l'adéquation des apports alimentaires au potentiel de croissance et aux objectifs de production. De plus, il est important de pouvoir maîtriser la composition tissulaire du gain de poids car elle détermine la valeur du produit commercialisé. Or, à un stade de croissance donné, la composition corporelle du porc est le résultat du développement continu des différents tissus et constituants chimiques corporels avec l'augmentation de poids vif, les lois de développement étant susceptibles de varier suivant le type d'animal considéré (Karege 1991) mais également suivant les apports nutritionnels. Si à moyen ou long terme il est possible de modifier la composition corporelle des animaux par des efforts de sélection génétique, à court terme, d'autres solutions telles que la modification des apports nutritionnels doivent être proposées à l'éleveur.

Des travaux de synthèse récents ont permis d'analyser les conséquences des variations des apports de protéines et d'acides aminés essentiels sur le dépôt de protéines et les performances de croissance associées (Sève 1994,

Résumé

L'objectif de cet article est d'étudier les conséquences d'une variation des apports énergétiques sur la croissance du porc. La première partie est consacrée à la présentation des facteurs de variation de la nature du gain de poids intrinsèques à l'animal (poids vif, génotype, sexe). La seconde partie a pour objectif de faire le point des connaissances actuelles sur les conséquences d'une variation des apports d'énergie sur la croissance. Il en ressort que les lois de réponse des dépôts, tant chimiques que tissulaires, en fonction des apports d'énergie, diffèrent entre les types de porcs selon leur potentiel de croissance. En particulier, les dépôts de protéines et de tissu maigre augmentent avec les apports d'énergie suivant une relation linéaire-plateau dont les paramètres sont affectés par le génotype, le type sexuel et le poids vif. Parallèlement, les dépôts de lipides et de tissu adipeux augmentent linéairement avec les apports d'énergie, la pente de cette relation n'étant affectée ni par le génotype ni par le type sexuel dans un intervalle de poids donné. Il en résulte des différences relativement importantes entre les types de porcs en terme de gain de poids associé à l'apport d'énergie (de 19 à 41 g par MJ supplémentaire d'énergie digestible ingérée).

Sève et Henry 1995). L'objectif de cet article est de présenter les conséquences d'une variation des apports énergétiques sur la croissance et d'étudier les concepts utilisés pour la modélisation des besoins nutritionnels et de la composition corporelle du porc.

La première partie de l'article concerne les facteurs influençant l'évolution des dépôts corporels en condition d'alimentation *ad libitum*. Les conséquences d'une variation des apports énergétiques sur les dépôts et les performances de croissance sont abordées dans une deuxième partie. La croissance correspondant tout d'abord à un dépôt de constituants chimiques et un gain associé des différents compartiments tissulaires, les dépôts corporels seront abordés dans cet ordre dans chaque partie.

1 / Dépôts corporels en condition d'alimentation *ad libitum* : facteurs de variation

1.1 / Dépôts de constituants chimiques

a / Poids vif

L'évolution du potentiel de dépôt de protéines (PD_{max}) avec le poids vif (PV) a fait l'objet de nombreuses études, mais reste

subjective à discussion. Dans les travaux d'Oslage et Fliegel (1965), le dépôt quotidien de protéines variait peu entre 30 et 130 kg de PV et diminuait au-delà de 130 kg. Pendant le même temps, le dépôt de lipides augmentait avec l'accroissement du PV ; la variation du dépôt lipidique résultant vraisemblablement plus de l'évolution de la quantité d'énergie ingérée disponible pour la croissance que de l'évolution du PV (figure 1).

Des travaux plus récents ont mis en évidence une évolution curvilinéaire du dépôt de protéines entre 20 et 200 kg (Carr *et al* 1977, Black *et al* 1986, Whittemore *et al* 1988), la valeur maximale étant influencée par le type génétique et le type sexuel comme présenté plus loin. Cependant, dans chacune de ces études, la variation du dépôt protéique n'excédait pas 20 g/j sur l'intervalle de PV pendant lequel l'augmentation de l'adiposité du gain de poids était la plus importante (entre 45 et 100 kg). Cette faible variation face à l'importante variabilité des résultats chez les porcs alimentés à volonté et à l'imprécision relative des méthodes de mesure ont conduit de nombreux auteurs dont Siebrits *et al* (1986), Whittemore (1993) et Quiniou *et al* (1996c) à conclure que le potentiel de dépôt de protéines reste constant entre 20 et 110 kg de poids vif chez les porcs maigres. Chez ces animaux, en condition d'alimentation *ad libitum*, l'accroissement de l'adiposité du gain de poids quand le PV augmente n'est donc pas dû à une diminution de la capacité à déposer des protéines, mais à une augmentation de l'aptitude à déposer des lipides.

b / Type génétique et type sexuel

Le potentiel de dépôt de protéines varie avec le type génétique et le type sexuel. Ainsi, sur le même intervalle de poids (45-85 kg), les valeurs moyennes les plus élevées de PD_{max} sont observées chez des mâles Duroc (198 g/j : Fuller *et al* 1995), chez des femelles issues d'une lignée synthétique (194 g/j : Bikker 1994) et chez des mâles croisés Large White x Landrace (189 g/j : Campbell et Taverner 1988) ; les valeurs les plus faibles sont obtenues chez des mâles castrés de race chinoise Meishan (38 g/j : Noblet *et al* 1994). L'évolution de l'adiposité corporelle avec le poids vif étant différente d'un type de porcs à l'autre, la composition chimique du gain de poids est donc très variable selon le type de porcs (figure 2).

L'adiposité du gain de poids des femelles est intermédiaire entre celle des mâles castrés et celle des mâles. Ainsi, dans une étude rapportée par Noblet *et al* (1994), le dépôt de protéines est identique chez les femelles et les mâles castrés sur le même intervalle de poids (20-110 kg) (111 et 115 g/j chez les femelles et les mâles castrés contre 142 g/j chez les mâles) et le dépôt de lipides est identique chez les femelles et les mâles mais supérieur chez les mâles castrés (respectivement 175 et 179 chez les femelles et les mâles contre 218 g/j chez les mâles castrés). La cas-

Figure 1. Evolution de la quantité d'énergie métabolisable ingérée au-dessus de l'entretien (EMp) et des quantités de protéines et de lipides déposées selon le poids vif des porcs (d'après Oslage et Fliegel 1965).

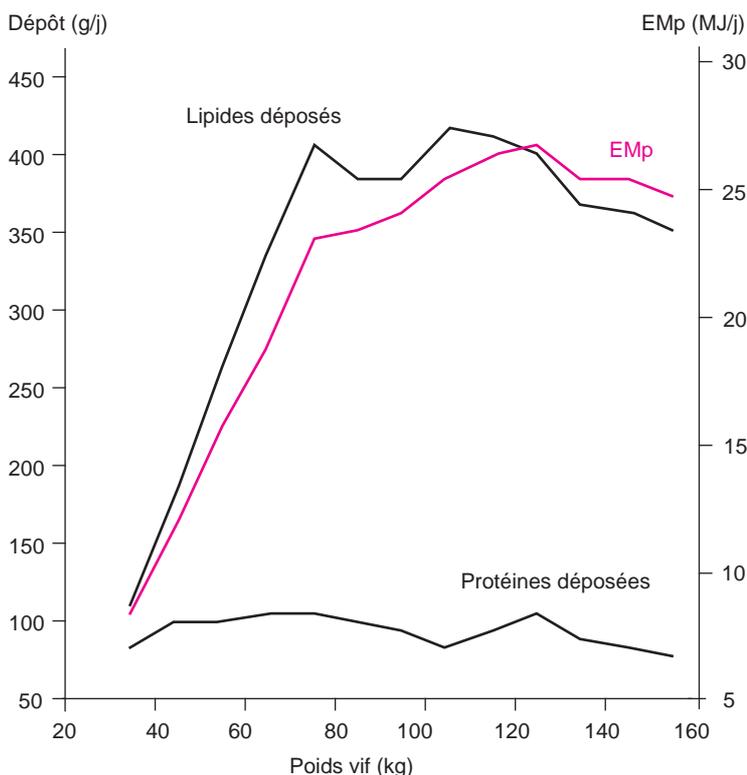
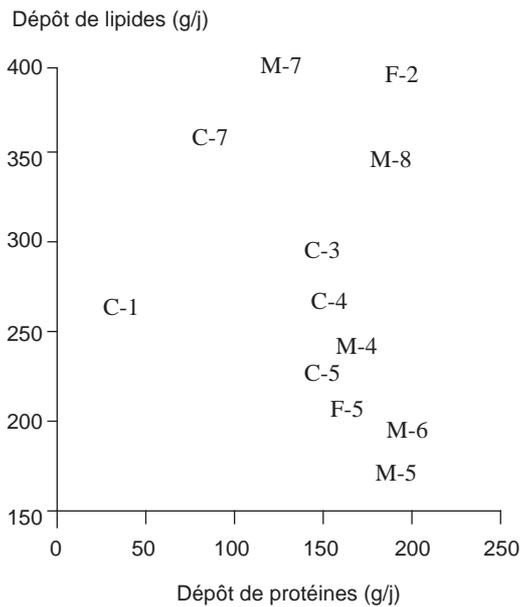
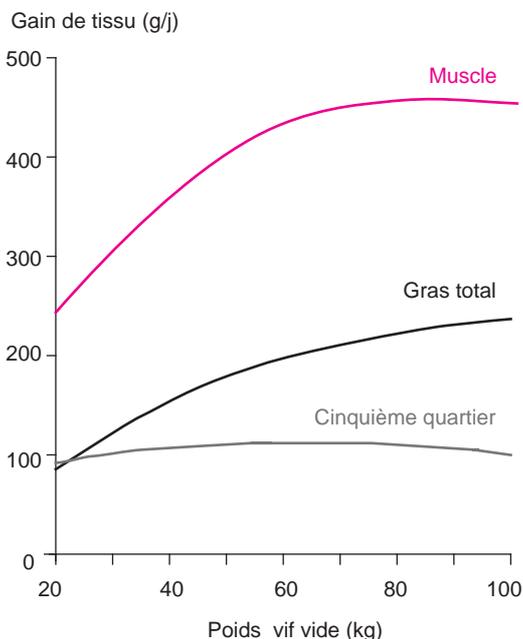


Figure 2. Effet du type génétique et du type sexuel sur les dépôts journaliers de protéines et de lipides. Les dénominations des types de porcs correspondent à « Sexe - Lignée ». M = mâles, F = femelles, C = mâles castrés. Lignées 1 : Meishan (Noblet cité par Bonneau et al 1990), 2 : hybride (Bikker 1994), 3 : LW et 4 : PPxLW (Quiniou 1995), 5 : « Rowett » et 6 : Duroc (Fuller et al 1995), 7 : LWxLdB et 8 : LWxLdA (Campbell et Taverner 1988).



tration provoque en effet une diminution de PDmax et un accroissement du dépôt de lipides (Noblet et al 1994, Fuller et al 1995, Quiniou et al 1996b) en raison de changements métaboliques, notamment *via* une

Figure 3. Evolution des gains quotidiens de cinquième quartier, de muscle et de gras total avec le poids vif chez des mâles Large White (d'après Karege 1991).



diminution de la sécrétion et des niveaux circulants d'hormones androgènes. En effet, l'injection d'androgènes exogènes à des mâles castrés diminue, sans toutefois annuler, les différences de performances de croissance entre mâles castrés et mâles (revues de Buttery 1983 et de Spencer 1985).

L2 / Dépôts tissulaires et vitesse de croissance

Le poids vif correspond à la somme du poids vif vide (PVV) et des contenus digestifs, la masse de ces derniers étant très variable avec les conditions d'abattage et la conduite alimentaire. Aussi, le poids de référence considéré pour exprimer la composition corporelle des porcs est généralement le PVV (qui représente la somme de tous les tissus corporels). Dans le PVV, on distingue la carcasse du cinquième quartier, ce dernier étant constitué du tube digestif, de l'appareil urogénital, du sang et des viscères. La carcasse est constituée du compartiment tête + pieds + queue et de cinq tissus principaux : le tissu musculaire, le tissu adipeux externe (sous-cutané et périrénal), le tissu adipeux intermusculaire, les os et la peau. Le maigre résulte de la non séparation du muscle et du gras intermusculaire, alors que le gras total représente la somme des gras externe et intermusculaire.

Le gain de poids et les dépôts de tissus sont les résultantes des dépôts de constituants chimiques. Chez les porcs de type maigre ou gras, le dépôt de 1 g de protéines s'accompagne du dépôt de 3,5 à 4 g d'eau et de minéraux, d'où un gain de poids total associé de 4,5 à 5 g, alors que le dépôt de 1 g de lipides s'accompagne d'un gain de poids de 1 g (Quiniou et Noblet 1995). Compte tenu de la composition tissulaire corporelle et des caractéristiques de composition chimique des tissus, environ 55 % des protéines et 80 % des lipides totaux sont déposés respectivement dans le tissu musculaire et dans le tissu adipeux (Susenbeth et Keitel 1988, Karege 1991). Les relations étroites existant entre dépôt de protéines et gain de muscle, ainsi qu'entre dépôt de lipides et gain de gras dépendent toutefois des caractéristiques des porcs (tableau 1). En moyenne, entre 20 et 100 kg de PV, le dépôt de 1 g de protéines

La composition chimique du gain de poids est très variable selon le type de porcs.

Tableau 1. Estimation entre 20 et 95 kg de poids vif des quantités (g) de muscle et de gras total à partir des quantités (g) de protéines et de lipides corporels selon le type de porcs considéré (d'après Quiniou et Noblet 1995).

Tissu (Y)	Constituant chimique (X)	Equation	Type de porcs ⁽¹⁾
Muscle	Protéines de la carcasse	$Y = 4,62 X^{0,97}$	Maigre Gras Très gras
		$Y = 3,43 X^{0,99}$	
		$Y = 3,50 X^{0,95}$	
Gras total	Lipides du poids vif vide	$Y = 1,35 X^{0,97}$ $Y = 1,61 X^{0,94}$	Maigre ou gras Très gras

(1) Maigre : mâles Piétrain ou mâles issus d'une lignée synthétique ; Gras : mâles, femelles et mâles castrés Large White ; Très gras : mâles castrés Meishan.

dans l'animal entier est associé à un gain de 3,2 g de tissu maigre dans la carcasse chez les porcs de type maigre et de 2,7 à 2,9 g chez des porcs de type gras (Noblet *et al* 1994). Le dépôt de 1 g de lipides dans le PVV conduit à un gain presque équivalent de tissu adipeux.

a / Poids vif

Chez le porc, l'évolution du PV avec l'âge est de type sigmoïdal entre la naissance et 300 jours (Whittemore *et al* 1988). D'après les résultats de Karege (1991), le gain quotidien des différents tissus n'est pas constant quand le PV s'accroît : en effet, les dépôts évoluent suivant des relations curvilinéaires (figure 3). Comme l'ont montré Huxley (1932), Walstra (1980) et Robelin (1986), la croissance des constituants tissulaires se déroule suivant des lois bien définies en fonction du PVV : celles-ci peuvent être décrites par des équations d'allométrie $Y = a X^b$ où a est un paramètre d'échelle et b est le coefficient d'allométrie (tableau 1).

En comparant les valeurs du coefficient d'allométrie, on peut distinguer trois groupes de tissus (McMeekan 1940). Le cinquième quartier, le tissu osseux et la peau se caractérisent par un développement précoce, d'où une diminution de leur importance relative au PVV quand ce dernier augmente. Le développement du tissu adipeux est par contre tardif et sa part dans le PVV s'accroît de façon plus ou moins rapide selon le type de porcs considéré. Enfin, en ce qui concerne le muscle, on note un développement différent selon les caractéristiques intrinsèques des porcs. Ainsi, chez les porcs de type maigre, le coefficient d'allométrie est constant et supérieur à 1, d'où une part croissante de ce compartiment dans le PVV. Par contre, chez les animaux de type plus gras (Large White), la valeur du coefficient diminue quand le PV augmente, devient inférieure à 1, et la teneur en muscle dans le PVV évolue de façon quadratique au cours de la croissance (Noblet *et al* 1994).

b / Type génétique et type sexuel

Il existe autant de relations entre les dépôts quotidiens de gras et de maigre que de génotypes (Schinckel 1994). Ainsi, pour une même quantité de gras déposée (environ

200 g/j), les mâles castrés Meishan déposent trois fois moins de muscle que les mâles castrés Large White (107 vs 301 g/j) dans le même intervalle de poids vif (Noblet *et al* 1994). La sélection génétique en faveur du dépôt de maigre et pour une meilleure efficacité d'utilisation de l'aliment s'accompagne à la fois d'une augmentation du dépôt de muscle et d'une diminution du dépôt de gras (Schinckel 1994).

L'effet du type sexuel sur les dépôts de protéines et de lipides se retrouve sur les dépôts de muscle et de gras (tableau 2) : les femelles déposent quotidiennement autant de muscle que les mâles castrés (25 % de moins que les mâles), mais autant de gras que les mâles (20 % de moins que les mâles castrés). La composition tissulaire du gain de poids des femelles est donc intermédiaire entre celle des mâles et celle des mâles castrés. La castration s'accompagne d'un dépôt accru de tissu adipeux et d'un dépôt moindre de maigre (tableau 2) ; cet effet serait d'autant plus important que le potentiel de dépôt de muscle du type génétique étudié est élevé (Desmoulin 1978).

Les effets que le type génétique et le type sexuel exercent sur les dépôts corporels ont pour conséquence des vitesses de croissance différentes d'un type de porcs à l'autre. Ainsi, la vitesse de croissance des porcs Meishan est inférieure de 40 % à celle des porcs Large White (Noblet *et al* 1994). Le croisement Large White (ou Large White x Landrace) x Piétrain n'entraîne pas de modification de la vitesse de croissance (Legault *et al* 1987, Quiniou *et al* 1994 et 1996a). La castration exerce un effet négatif sur la vitesse de croissance (-16 % : Noblet *et al* 1994 ; -5 % : Fuller *et al* 1995).

2 / Effet de l'apport énergétique sur les dépôts corporels

2.1 / Lois de réponse des dépôts en fonction des apports énergétiques

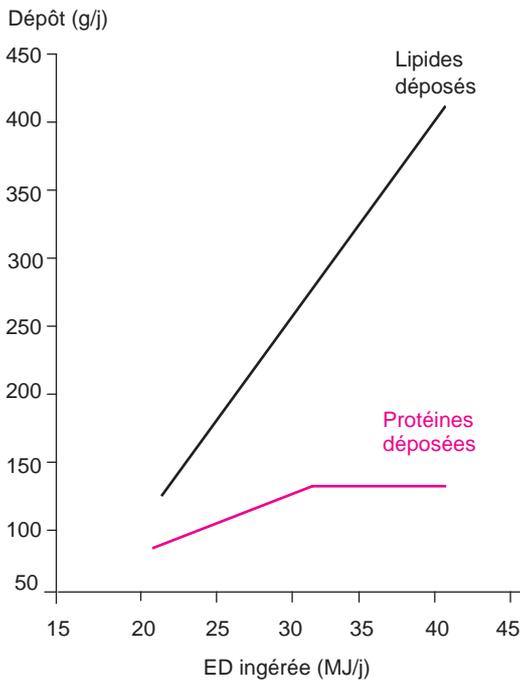
Whittemore et Fawcett (1976) ont proposé un modèle permettant de décrire la loi de réponse du dépôt de protéines en fonction des quantités d'énergie ingérée, les apports protéiques n'étant pas limitants pour la croissance. Ce modèle, dit linéaire-plateau (figure 4), suppose que le dépôt de protéines augmente avec les apports d'énergie suivant une relation linéaire jusqu'à ce que le potentiel de dépôt de protéines soit atteint. Au-delà de ce point, l'augmentation des apports d'énergie ne s'accompagne pas de dépôt supplémentaire de protéines, et cette phase correspond au « plateau » c'est-à-dire à PDmax. Ce modèle suppose également que l'énergie disponible pour la croissance, et non déposée sous forme de protéines, est intégralement

L'accroissement des dépôts des tissus avec le poids vif évolue au cours de la croissance et diffère selon les tissus.

Tableau 2. Effet du type génétique et du type sexuel sur la vitesse de croissance, le gain quotidien de muscle et de gras et l'indice de conversion énergétique (IC, en MJ ED/kg de gain) moyen entre 20 et 100 kg de poids vif (d'après Noblet *et al* 1994).

Gain quotidien (g)					
Génotype	Sexe	Poids vif	Muscle	Gras total	IC
Piétrain	mâle	804	443	138	31,2
Large White	mâle	881	401	175	31,2
Large White	femelle	726	315	177	39,0
Large White	castré	751	301	222	39,9
Meishan	castré	458	107	189	53,0

Figure 4. Effet de l'énergie digestible (ED) ingérée sur la rétention de protéines et de lipides chez des mâles Large White x Landrace (d'après Campbell et Taverner 1988).



utilisée pour le dépôt de lipides. Tant que l'énergie ingérée est limitante pour le dépôt protéique, le dépôt de lipides augmente linéairement avec l'énergie ingérée. Au-delà d'une quantité d'énergie correspondant à l'expression de PDmax, tout apport supplémentaire d'énergie est utilisé pour le dépôt de lipides. Ce concept supposerait une pente supérieure de la droite de réponse du dépôt lipidique en fonction des apports d'énergie dès que PDmax est atteint. Cependant, compte tenu de la valeur énergétique des lipides et du nombre limité de mesures réalisées dans la plupart des études, cette différence de pente n'est pas apparente, et la relation entre le dépôt de lipides et l'énergie ingérée est considérée linéaire quelles que soient les quantités d'énergie ingérée.

Même si les résultats obtenus par Campbell *et al* (1985) et Campbell et Taverner (1988) ont permis de valider le concept linéaire-plateau, la rupture brutale de pente est sujette à critique. Une évolution curvilinéaire (Schneider *et al* 1982) ou linéaire-plateau à transition progressive (Bikker 1994) paraîtrait mieux représenter les phénomènes biologiques, mais étant donné le nombre limité de mesures réalisées dans chaque étude, il n'est pas toujours évident de choisir entre les différents modèles proposés.

En s'appuyant sur la relation étroite existant entre le dépôt de protéines et le gain de muscle, Whittemore (1993) a appliqué au gain de muscle le modèle linéaire-plateau de la loi de réponse du dépôt de protéines en fonction des apports d'énergie. Ce modèle est validé par Schinckel (1994) et par nos résultats (Quiniou *et al* 1996a, figure 5) qui met-

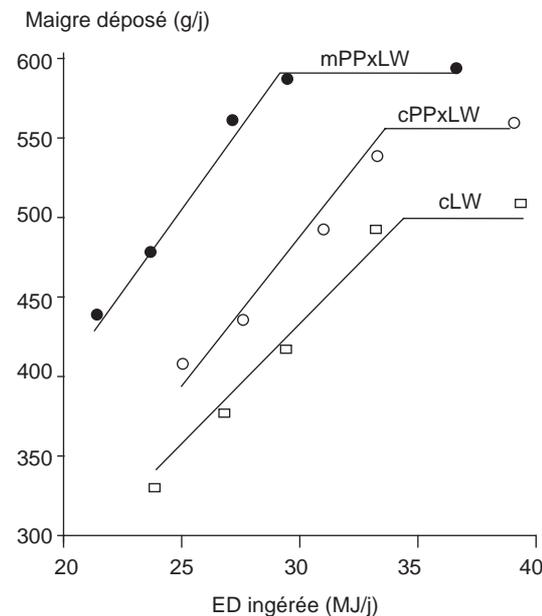
tent en évidence le même type de relation entre le gain de maigre ou le dépôt de protéines et les apports d'énergie. La similitude des lois de réponse s'explique par la proportion élevée de protéines supplémentaires déposées dans le maigre quand les apports d'énergie augmentent et par l'absence d'effet du niveau énergétique sur la répartition des protéines totales déposées entre les différents compartiments tissulaires. Au vu des résultats de la bibliographie sur ce sujet, d'autres modèles sont proposés, ce qui peut être dû en partie au nombre de mesures réalisées ainsi qu'aux techniques de dissection de la carcasse. Ainsi, le dépôt de maigre calculé à partir des données de Davies *et al* (1980) et de Ellis *et al* (1983) augmente linéairement avec l'apport alimentaire, alors que d'après Gütte *et al* (1978) et Bikker (1994), la loi de réponse est curvilinéaire ou asymptotique.

Afin de pouvoir exploiter les différentes sources de résultats disponibles dans la bibliographie, les quantités d'énergie allouée aux porcs seront exprimées dans la suite de l'article dans le système « énergie digestible » (ED).

2.2 / Facteurs de variation des dépôts de protéines et de lipides en fonction des apports d'énergie

L'augmentation du dépôt de lipides avec les apports d'énergie n'est significativement influencée ni par le type génétique ni par le type sexuel. En effet, d'après l'analyse des données disponibles dans la bibliographie,

Figure 5. Effet de la quantité d'énergie digestible (ED) ingérée sur le dépôt quotidien de maigre mesuré sur la période 45-100 kg chez trois types de porcs : des mâles castrés de race Large White (cLW), des mâles castrés (cPPxLW) et des mâles (mPPxLW) croisés Piétrain x Large White (d'après Quiniou *et al* 1996a).



Le dépôt de protéines et le gain de tissu maigre augmentent linéairement avec l'énergie ingérée jusqu'à une valeur maximale fonction du type de porcs.

Tableau 3. Effet de l'augmentation de l'énergie digestible ingérée sur les dépôts supplémentaires de protéines et de lipides (g/MJ) selon le type de porcs (PP : Porc de Piétrain, LW : Large White, Ld : Landrace, Msh : Meishan).

Auteurs	PV (kg)	Lignée1	Sexe	$\beta_p^{(1)}$	$\beta_f^{(1)}$
Campbell <i>et al</i> (1985)	48-90	LWxLd	Femelle	3,6	14,3
"	48-90	LWxLd	Mâle	6,1	13,3
Campbell et Taverner (1988)	45-90	LWxLd B	Castré	2,9	15,0
"	45-90	LWxLd B	Mâle	4,4	14,7
"	45-90	LWxLd A	Mâle	5,3	15,1
Bikker (1994)	45-85	Hybride	Femelle	3,8	13,7
Quiniou (1995)	45-100	LW	Castré	4,1	13,6
"	45-100	PPxLW	Castré	4,5	13,6
"	45-100	PPxLW	Mâle	5,8	13,6

(1) β_p et β_f correspondent respectivement à l'augmentation des dépôts de protéines et de lipides par MJ d'ED supplémentaire ingérée, tant que le dépôt de protéines est inférieur à PDmax.

l'augmentation du dépôt de lipides est en moyenne de 14,5 (\pm 0,5) g/MJ ED sur l'intervalle 45-100 kg de poids vif quels que soient les porcs étudiés, et l'absence d'effet du type de porcs est également observée sur l'intervalle 2-55 kg de poids vif (Quiniou 1995). Peu de résultats sont disponibles quant à l'effet du PV sur la relation entre le dépôt de lipides et l'énergie ingérée. Selon Bikker (1994), la pente de la relation augmenterait avec l'élévation de PV de 10,5 à 13,7 g/MJ ED entre les intervalles de poids vif 20-45 et 45-85 kg ; selon Quiniou *et al* (1995) elle resterait constante entre 45 et 100 kg (14,5 g/MJ ED).

Au contraire, l'augmentation du dépôt de protéines avec l'énergie ingérée est influencée par de nombreux facteurs. Elle diffère entre les types sexuels : la pente de la relation entre le dépôt de protéines et l'énergie ingérée est plus élevée chez les mâles que chez les femelles et les mâles castrés (tableau 3). Chez les lignées de porcs de type maigre, la pente de la phase linéaire de rétention protéique est plus élevée que chez les porcs de type plus

gras (Campbell et Taverner 1988, Quiniou 1995), alors qu'elle n'est pas différente entre les deux lignées pour les lipides. Ce résultat traduit donc une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie pour le dépôt de protéines chez les lignées maigres. Outre l'effet sur les pentes, d'après les résultats de Campbell et Taverner (1988), la principale différence entre les lignées réside dans la présence ou non d'un plateau dans la loi de réponse du dépôt de protéines à l'apport énergétique : chez les porcs de type conventionnel, le dépôt protéique augmente linéairement puis reste constant alors que, chez les porcs de type maigre, tout apport supplémentaire d'énergie se traduit par un dépôt accru de protéines (figure 6a). Ce résultat est cependant à nuancer selon les types de porcs comparés. Ainsi, nos résultats (Quiniou *et al* 1996c) font apparaître que les porcs performants (mâles croisés Piétrain x Large White) expriment leur PDmax pour une quantité d'énergie ingérée inférieure à celle correspondant à l'expression de PDmax des porcs de type plus gras (mâles castrés Large White) (figure 6b).

L'effet du poids vif sur la réponse du dépôt protéique à l'augmentation de la quantité d'énergie ingérée semble très complexe (Dunkin et Black 1985). Les résultats obtenus récemment dans deux intervalles de PV (20-45 vs 45-85 kg) par Bikker (1994) mettent en évidence une diminution de la pente avec l'augmentation de PV (figure 7). Toutefois, si cette variation est significative sur l'intervalle de poids 6-45 kg (Black *et al* 1986), ce n'est pas le cas entre 45 et 100 kg (Quiniou *et al* 1995). En ce qui concerne l'apparition du plateau avec l'augmentation du PV, elle est à nuancer selon le génotype étudié. En effet, le plateau n'est pas mis en évidence chez les porcs à potentiel de dépôt de protéines élevé (Campbell et Taverner 1988, Bikker 1994) quel que soit le stade de croissance, alors que, d'après Tullis (1981), l'apparition du plateau

L'augmentation du dépôt de protéines avec l'énergie ingérée est fonction du génotype et du type sexuel, contrairement à l'augmentation du dépôt de lipides.

Figure 6. Effet du type de porcs, performants ou conventionnels, sur la quantité d'énergie métabolisable (EM) ingérée pour laquelle les animaux expriment leur potentiel de dépôt de protéines (a : d'après Campbell et Taverner 1988, b : d'après Quiniou 1995).

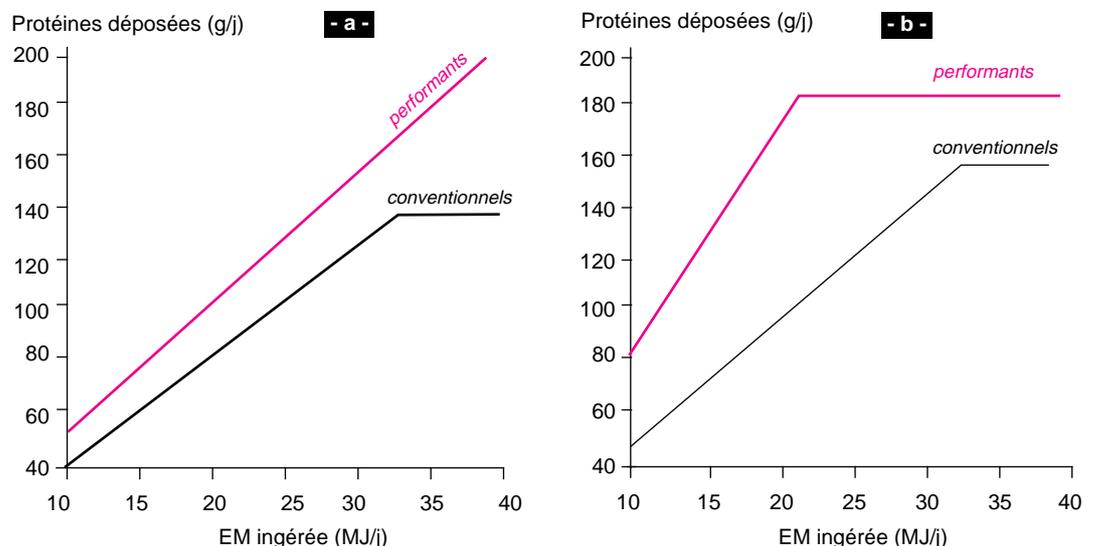
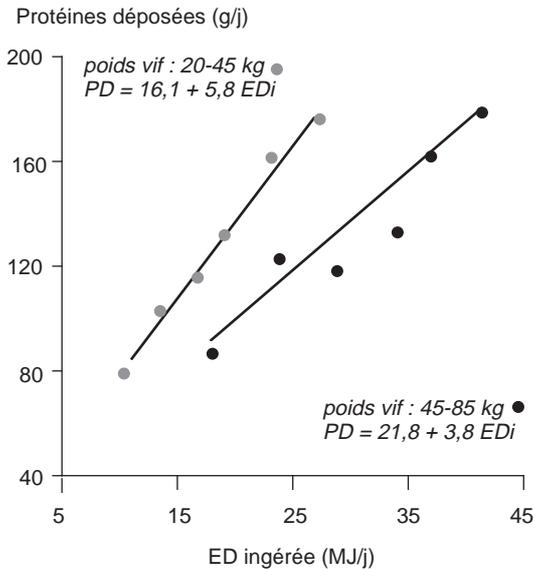


Figure 7. Effet du stade de croissance et de l'énergie digestible (ED) ingérée sur le dépôt de protéines (d'après Bikker 1994).



serait très rapide chez les porcs de type gras (dès 20 kg).

Les lois de réponse rapportées dans les études mentionnées dans ce paragraphe indiquent que, lorsque le bilan énergétique de l'animal est nul, le dépôt de protéines reste positif alors que le dépôt de lipides est négatif. Ces résultats suggèrent que l'animal à l'entretien continue à déposer des protéines, aux dépens de ses réserves lipidiques. D'un point de vue biologique, l'accrétion protéique serait donc un processus prioritaire chez l'animal en croissance. Cependant, quand le poids vif augmente, le dépôt de protéines diminue chez l'animal à l'entretien ce qui peut constituer un indicateur de maturité. En d'autres termes, cette évolution peut expliquer que, pour une même quantité d'énergie ingérée au-dessus de l'entretien, le dépôt de protéines diminue quand le poids vif augmente.

2.3 / Evolution des dépôts tissulaires avec les apports d'énergie : facteurs de variation

Tout apport supplémentaire d'énergie s'accompagne d'une augmentation des dépôts de tissu maigre et de tissu adipeux. Cependant, l'augmentation du dépôt de tissu adipeux avec l'accroissement de l'énergie ingérée est plus rapide que l'augmentation du dépôt de tissu maigre, d'où une diminution de la teneur en muscle de la carcasse quand l'apport énergétique augmente (Davies *et al* 1980, Ellis *et al* 1983, Quiniou *et al* 1996a).

D'après l'hypothèse émise par Whittemore (1993), la quantité d'énergie ingérée par l'animal n'aurait aucune incidence sur la composition du gain de poids tant que le potentiel de dépôt maximal de maigre n'est pas atteint.

Or, d'après nos résultats (Quiniou *et al* 1996a), l'adiposité du gain de poids augmente quand les apports énergétiques s'accroissent. En effet, le dépôt de tissu maigre augmente avec les apports d'énergie suivant une relation du type « b x ED », alors que le dépôt de gras augmente suivant une relation du type « c + d x ED », le paramètre « c » étant négatif.

Outre un effet sur l'adiposité du gain de poids, l'apport énergétique influence également le développement de la carcasse et du cinquième quartier. En effet, l'augmentation des apports énergétiques s'effectue *via* un apport accru d'aliment, ce qui entraîne un développement plus important des organes tels que le foie, les reins et le tube digestif (Bikker 1994). Ce développement accru reflète l'augmentation des processus digestifs et métaboliques associés à la plus grande quantité d'aliment ingérée, et constitue donc une capacité adaptative des animaux à la variation des conditions nutritionnelles.

Dans une optique de modélisation de la croissance, il semble plus intéressant de considérer la composition du gain de poids marginal ou additionnel, plutôt que la composition du gain de poids total. La composition du gain de poids marginal peut se déduire des dérivées premières des équations mathématiques mises en évidence entre les dépôts tissulaires et l'apport énergétique. Ces équations étant linéaires (tant que le maximum de dépôt de maigre n'est pas atteint, Quiniou *et al* 1996a), la composition du gain de poids marginal est indépendante du niveau énergétique. D'après nos résultats obtenus chez des mâles Piétrain x Large White (Quiniou *et al* 1995), les gains de maigre et de gras externe représentent respectivement 61 et 29 % du gain de poids vif vide additionnel. Etant donné les teneurs en maigre (60 %) et surtout en gras externe (7 %) du poids vif vide des porcs rationnés à 70 % du niveau de consommation *ad libitum*, les caractéristiques de composition du gain de poids additionnel, en particulier la teneur élevée en gras externe, conduisent bien à un accroissement de l'adiposité corporelle des animaux quand l'apport énergétique s'élève.

Peu de travaux ont porté sur l'étude de l'effet du type sexuel ou du type génétique sur les relations entre les dépôts tissulaires et l'énergie ingérée. Cependant, d'après les résultats de Davies *et al* (1980), l'augmentation du dépôt de muscle en réponse à l'apport énergétique est identique chez les femelles et chez les mâles castrés (11,5 g/MJ ED), alors que l'accroissement du dépôt de tissu adipeux est supérieur chez les mâles castrés (12,5 vs 7,7 g/MJ ED chez les femelles). L'augmentation du gain de gras externe est identique chez les mâles castrés et les mâles (9,6 g/MJ ED), mais la castration entraîne une diminution de la pente de la loi de réponse du gain de maigre (16,3 vs 20,2 g/MJ ED chez les mâles) (Quiniou *et al* 1996a).

La lignée affecte différemment les lois de réponse des dépôts tissulaires selon le compartiment corporel considéré. En effet, la

comparaison de porcs Large White et de porcs croisés Piétrain x Large White ne permet pas de mettre en évidence de différence d'accroissement du dépôt de gras externe en réponse à l'augmentation de l'apport énergétique, alors que l'accroissement du dépôt de maigre est plus important chez les porcs croisés Piétrain x Large White que chez les porcs Large White (Quiniou *et al* 1996a). Ces effets de la lignée sur les lois de réponse des dépôts tissulaires expliquent donc l'adiposité corporelle plus faible des porcs Piétrain x Large White à l'abattage, quelle que soit la quantité d'énergie ingérée.

Le stade de croissance ne semble pas influencer l'augmentation du gain de tissu adipeux avec l'apport énergétique. En effet, d'après Bikker (1994), la pente de la loi de réponse est la même en période de croissance (20-45 kg) et de finition (45-85 kg), soit + 11,7 g/MJ ED environ. Par contre, l'accroissement du dépôt de maigre avec l'énergie ingérée est moins élevé en période de finition qu'en période de croissance (respectivement 9,6 et 12,5 g/MJ ED), ce qui est en accord avec l'effet du stade de croissance sur le dépôt de protéines observé par cet auteur. L'effet du stade de croissance sur la nature du gain de poids remet en question l'hypothèse de Whittemore (1993) selon laquelle la composition du gain de poids total serait indépendante du poids vif des animaux en condition limitante d'apport énergétique. Il en résulte, quand la quantité d'énergie ingérée s'accroît, une augmentation de l'adiposité du gain de poids plus importante en période de finition qu'en période de croissance.

2.4 / Effet des apports énergétiques sur les performances

Les effets de la lignée et du type sexuel sur les dépôts de constituants chimiques ou de tissus présentés dans les paragraphes précédents ont pour conséquence directe des différences de performances de croissance entre les types de porcs. Ainsi, l'augmentation des apports énergétiques se traduit par une élévation de la vitesse de croissance variable selon les caractéristiques intrinsèques de l'animal. D'après les résultats disponibles dans la bibliographie, l'augmentation de la

vitesse de croissance par MJ d'ED supplémentaire ingérée varie de 19 à 41 g respectivement chez des mâles castrés de type gras (Campbell et Taverner 1988) et chez des mâles de type maigre (Rao et McCracken 1992) dans l'intervalle 45-90 kg de poids vif. Dans cet intervalle, l'accroissement de la vitesse de croissance en réponse à l'augmentation de l'énergie ingérée est comparable chez les porcs performants étudiés par Campbell et Taverner (1988) (+ 36 g/MJ), par Bikker (1994) (+ 34 g/MJ) et par Quiniou *et al* (1996a) (+ 39 g/MJ). La castration provoque une diminution d'environ 15 % de la réponse de la vitesse de croissance à l'apport d'énergie (Campbell et Taverner 1988, Quiniou *et al* 1996a).

Compte tenu des lois de réponse de chacun des compartiments corporels, et des effets possibles du type de porcs, l'augmentation des apports énergétiques s'accompagne de modifications de la composition du gain de poids et donc de la composition corporelle au poids commercial d'abattage (vers 100 kg). Les principales conséquences sont l'augmentation de la teneur en tissu adipeux et la diminution concomitante de la teneur en maigre dans la carcasse (tableau 4).

Dans les limites raisonnables du rationnement et pour un aliment et un type de porcs donnés, la plupart des données de la bibliographie font apparaître que le coût énergétique du gain de poids, ou indice de consommation (ICED en MJ ED par kg de gain de poids), est peu affecté par la quantité d'énergie ingérée. En fait, l'indice de consommation dépend directement de la teneur en énergie du gain de poids (E_{gain}) et du niveau d'alimentation (NA, en multiple du besoin d'entretien) suivant la formule proposée par Henry et Noblet (1986) :

$$IC_{ED} = E_{\text{gain}} \times (1/k_g) \times NA / (NA - 1) / 0,96$$

où k_g représente le rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) en énergie fixée et 0,96 correspond au rapport moyen EM/ED dans l'aliment. Aussi, l'effet d'une augmentation de l'apport énergétique est compensé par l'accroissement de la teneur en énergie du gain de poids qui y est associée. Cette observation ne semble cependant valable que jusqu'à une certaine intensité de rationnement (70 % de la consommation à volonté, Quiniou *et al* 1996a), et est à nuancer chez certains génotypes recevant des apports énergétiques élevés (Campbell *et al* 1985). Lorsque l'indice de consommation est exprimé relativement au dépôt de maigre, il diminue avec la réduction des apports d'énergie (tableau 4).

Lorsqu'on augmente l'apport énergétique, le dépôt de tissu adipeux s'accroît plus vite que le dépôt de tissu maigre, d'où une moindre teneur en muscle de la carcasse.

Tableau 4. Effet de la quantité d'énergie digestible (ED) ingérée sur la composition corporelle à l'abattage à 100 kg et sur l'indice de consommation moyen mesuré chez des mâles croisés Piétrain x Large White entre 45 et 100 kg (d'après Quiniou 1995).

ED ingérée (MJ/j)	21,6	24,3	29,9
Teneur dans la carcasse (%)			
– Maigre (= muscles + gras intermusculaire)	70,0	67,9	66,2
– Gras externe (= dépôts sous-cutanés + périrénaux)	7,8	9,0	12,2
Indice de consommation			
– MJ ED / kg de gain de poids	30,3	29,8	29,3
– MJ ED / kg de gain de maigre	48,5	50,0	51,0

Conclusion

La croissance du porc, et en particulier la composition tissulaire et chimique du gain de poids, sont sous le contrôle de nombreux mécanismes physiologiques dont l'expression varie au cours de la croissance, mais également selon le type génétique et le type sexuel

des animaux. En outre, la croissance peut être modifiée quantitativement et qualitativement par le niveau des apports nutritionnels, notamment par les apports d'énergie. Au vu de la réponse de la croissance en fonction de l'énergie, tant que le potentiel de dépôt protéique ou musculaire n'est pas atteint, le niveau de rationnement énergétique influence peu le besoin en protéines et acides aminés relativement à l'apport d'énergie.

L'étude des effets sur la croissance de tous les facteurs de variations et de leurs interactions met en évidence la complexité des mécanismes de contrôle de la composition du gain

de poids et la nécessité d'un recours à des outils mathématiques. Certains sont déjà commercialisés et devraient permettre d'intégrer les conséquences des variations des apports alimentaires, des conditions d'élevage, de l'état sanitaire, la variabilité des performances d'un animal à l'autre... et par la suite de proposer des stratégies d'élevage adaptées à chaque type de porcs et aux objectifs technico-économiques de production.

Remerciements

Je remercie Y. Henry et J. Noblet pour l'évaluation critique du manuscrit.

Références bibliographiques

- Bikker P., 1994. Protein and lipid accretion in body components of growing pigs : effects of body weight and nutrient intake. Thèse, Université de Wageningen, Pays-Bas, 203 p.
- Black J., Campbell R.G., Williams I.H., James K.J., Davies G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. *Res. Dev. Agric.*, 3, 121-145.
- Bonneau M., Mourot J., Noblet J., Lefaucheur L., Bidanel J.-P., 1990. Tissue development in Meishan pigs : muscle and fat development and metabolism and growth regulation by somatotropic hormone. In : M. Molenat et C. Legault (eds), *Symp. sur le porc chinois*, Toulouse 5-6 juillet, INRA, Paris, 203-213.
- Buttery J.P., 1983. The hormonal control of protein deposition in animals. *Proc. Nutr. Soc.*, 42, 137-148.
- Campbell R.G., Taverner M.R., 1988. Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 66, 676-686.
- Campbell R.G., Taverner M.R., Curic D.M., 1985. Effect of sex and energy intake between 48-90 kg live weight on protein deposition in growing pigs. *Anim. Prod.*, 40, 497-503.
- Carr J.R., Boorman K.N., Cole D.J.A., 1977. Nitrogen retention in the pig. *Br. J. Nutr.*, 37, 143-155.
- Davies A.S., Pearson G., Carr J.R., 1980. The carcass composition of male, castrated male and female resulting from two levels of feeding. *J. Agric. Sci. (Camb.)*, 95, 251-259.
- Desmoulin B., 1978. Etude sur la composition corporelle du porc : applications scientifiques ou techniques. *Journées Rech. Porcine en France*, 10, 211-234.
- Dunkin A.C., Black J.L., 1985. The relationship between energy intake and nitrogen balance in the growing pig. In : P.W. Moe, H.F. Tyrell, P.J. Reynolds (eds), *Proc. of the 10th Symp., Airlie Virginia (EAAP Publ. 32)*, 110-113. Rowman and Littlefield, USA.
- Ellis M., Smith W.C., Henderson R., Whittmore C., Laird R., 1983. Comparative performance and body composition of control and selection line Large White : 2. Feeding to appetite for a fixed time. *Anim. Prod.*, 36, 407-413.
- Fuller M.F., Franklin M.F., McWilliam R., Pennie K., 1995. The response of growing pigs, of different sex and genotype, to dietary energy and protein. *Anim. Sci.*, 60, 291-298.
- Gütte J.O., Heunisch E., Heine T., 1978. Untersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Energieversorgung auf Wachstum, Futtermittelverwertung und Zusammensetzung des Körpers von Schweinen : 2. Die anatomische und chemische Zusammensetzung des Körpers. *Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde.*, 41, 99-108.
- Henry Y., 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs : a review. *Livest. Prod. Sci.*, 12, 339-354.
- Henry Y., Noblet J., 1986. Alimentation énergétique. In : J.-M. Perez, P. Mornet, A. Rérat (eds), *Le porc et son élevage : bases scientifiques et techniques*, 233-260. Maloine, Paris.
- Huxley J.S., 1932. *Problems of relative growth*. Methuen, London, 276 p.
- Karege C., 1991. Influence de l'âge et du sexe sur l'utilisation de l'énergie et la composition corporelle chez le porc en croissance. Thèse, Université de Montpellier II, France, 254 p.
- Legault C., Gruand J., Le Hénaff G., 1987. Comparaison au Large White des performances d'engraissement et d'abattage des porcs croisés issus de pères Piétrain français ou allemand. *Journées Rech. Porcine en France*, 19, 19-24.
- McMeekan C.P., 1940. Growth and development in the pig, with special reference to carcass quality characters. *J. Agric. Sci.*, 30, 276-348.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 267-276.
- Oslage H.J., Fliegel H., 1965. Nitrogen and energy metabolism of growing-fattening pigs with an approximately maximal feed intake. In : K.L. Blaxter (ed.), *Proc. of the 3rd Symp., Troon, Scotland (EAAP Publ. 11)*, 297-306. Academic Press Inc., New York.
- Quiniou N., 1995. Utilisation de l'énergie chez le porc selon son potentiel de croissance : contribution à la modélisation des besoins nutritionnels et de la composition corporelle. Thèse, ENSA Rennes, France, 177 p.

- Quiniou N., Noblet J., 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 73, 1567-1575.
- Quiniou N., Dourmad J.-Y., Henry Y., Bourdon D., Guillou D., 1994. Influence du potentiel de croissance et du taux protéique du régime sur les performances et les rejets azotés des porcs en croissance-finition alimentés à volonté. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 91-96.
- Quiniou N., Noblet J., van Milgen J., Dourmad J.-Y., 1995. Effect of energy intake on growth and carcass characteristics, and protein and energy utilization in growing boars from 40 to 100 kg body weight. *Anim. Sci.*, 61, 133-143.
- Quiniou N., Dourmad J.-Y., Noblet J., 1996a. Effet de la quantité d'énergie ingérée et du potentiel de croissance sur la composition tissulaire du gain de poids des porcs en croissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 429-438.
- Quiniou N., Dourmad J.-Y., Noblet J., 1996b. Effect of energy intake on the performance of different types of pigs from 45 to 100 kg body weight : 1. protein and lipid deposition. *Anim. Sci.*, sous presse.
- Quiniou N., Noblet J., Dourmad J.-Y., 1996c. Influence de l'apport d'énergie et du poids vif sur le besoin en lysine des porcs en croissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 413-420.
- Rao D.S., McCracken K.J., 1992. Energy : protein interactions in growing boars of high genetic potential for lean growth : 1. Effects on growth, carcass characteristics and organ weights. *Anim. Prod.*, 54, 75-82.
- Robelin J., 1986. Composition corporelle des bovins : évolution au cours du développement et différences entre races. Thèse d'état, Université de Clermont-Ferrand II, France, 391 p.
- Schinckel A.P., 1994. Nutrient requirements of modern pig genotypes. In : P.C. Garnsworthy and D.J.A. Cole (eds), *Recent advances in animal nutrition*, 133-169. Nottingham University Press, Nottingham.
- Schneider W., Gaus G., Michel A., Susenbeth A., Menke K.H., 1982. Effect of level of feeding and body weight on partition of energy in growing pigs. In : A. Ekern and F. Sundstøl (eds), *Proc. of the 9th Symp.*, Lillehammer, Norway (EAAP Pub. 29), 237-240. Agricultural University of Norway, Norway.
- Sève B., 1994. Alimentation du porc en croissance : intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. *INRA Prod. Anim.*, 7, 275-291.
- Sève B., Henry Y., 1995. Protein utilization in non-ruminants. In : A.F. Nunes, A.V. Portugal, J.P. Costa and J.R. Ribeiro (eds), *Proc. of the 7th Symp. on Protein metabolism and nutrition*, Vale de Santarém, Portugal. EAAP Publ. 81, 59-82.
- Siebrits F.K., Kemm E.H., Ras M.N., Barnes P.M., 1986. Protein deposition in pigs as influenced by sex, type and livemass : 1. The pattern and composition of protein deposition. *South African J. Anim. Sci.*, 16, 23-27.
- Spencer G.S.G., 1985. Hormonal systems regulating growth : a review. *Livest. Prod. Sci.*, 12, 31-46.
- Susenbeth A., Keitel K., 1988. Partition of whole body protein in different body fractions and some constants in body composition in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 20, 37-52.
- Tullis J.B., 1981. Protein growth in pigs. Thèse, Université d'Edinburgh, Ecosse, 183 p.
- Walstra P., 1980. Growth and carcass composition from birth to maturity in relation to feeding regimen and sex in Dutch Landrace pigs. Thèse, Université de Wageningen, Pays-Bas, 206 p.
- Whittemore C.T., 1993. The science and practice of pig production. Longman Scientific and Technical, UK, 661 p.
- Whittemore C.T., Fawcett R.H., 1976. Theoretical aspects of a flexible model to simulate protein and lipid growth in pigs. *Anim. Prod.*, 22, 87-96.
- Whittemore C.T., Tullis J.B., Emmans G.C., 1988. Protein growth in pigs. *Anim. Prod.*, 46, 437-445.

Abstract

Effect of energy supply on growth of pigs.

The objective of this paper is to present the effects of energy supply on growth of pigs. The topics developed in the first part relate to the effects of growth potential (*i.e.*, body weight, genotype, sex) on daily gains of chemical components and tissues. The objective of the second part is to take stock of the literature on the effects of energy intake on growth. With regard to available results, the relationships between deposition rates of chemical components or tissues and energy intake differ between types of pigs. Indeed, protein and lean gain increased

with energy intake according to a linear-plateau relationship, its parameters being affected by the genotype, the sex and the stage of growth. Besides, lipid and fat gain increased linearly with energy intake, and the slope of the relationship is affected neither by the genotype nor by the sex within a given body weight range. Consequently, the body weight gain change associated with energy intake is rather different between the types of pigs (from 19 to 41 g per extra MJ of digestible energy intake).

QUINIOU N., 1996. Apports énergétiques et croissance du porc. *INRA Prod. Anim.*, 9 (2), 141-150.