

J. MOUROT

INRA, Unité Mixte de Recherche sur le
Veau et le Porc, 35590 St-Gilles

Courriel : mourot@st-gilles.rennes.inra.fr

Mise en place des tissus adipeux sous-cutanés et intramusculaires et facteurs de variation quantitatifs et qualitatifs chez le porc

Les lipides consommés par le porc ont un effet sur la quantité de lipides déposés dans la carcasse et influencent les qualités nutritionnelles et technologiques de la viande. L'adiposité potentielle du porc à 100 kg de poids vif dépend aussi de la quantité et de la nature des lipides ingérés par la truie pendant la gestation et la lactation.

Les études concernant la qualité de la viande abordent différents aspects qui sont d'ordre technologique, organoleptique, nutritionnel, économique, hygiénique. La perception de l'image (conditions d'élevage, bien-être, conditions d'abattage...) que le consommateur a de l'élevage est aussi une composante qui est maintenant prise en compte. Il n'est pas aisé de concilier les souhaits et demandes des consommateurs, des nutritionnistes et des transformateurs.

Résumé

Le choix de la matière première lipidique dans l'alimentation du porc est particulièrement important. Il est bien connu qu'il existe une relation entre la nature des acides gras ingérés et ceux qui vont se déposer dans le tissu adipeux et à un degré moindre dans le muscle. Ce choix va donc conditionner la qualité de la viande. Des études récentes laissent aussi apparaître un rôle important du taux et de la nature des acides gras alimentaires sur la mise en place et le développement des tissus adipeux chez le fœtus lors de la gestation.

Chez la truie, l'accroissement du taux de lipides alimentaires augmente l'adiposité de la carcasse du porcelet à la naissance et favorise la prolifération des précurseurs adipocytaires qui, par la suite, donneront les adipocytes. Un taux excessif de lipides alimentaires durant la gestation peut donc à terme induire une adiposité plus élevée chez le porc charcutier.

L'origine des acides gras intervient également sur ces mêmes paramètres. L'huile de coprah, comparée à celle de tournesol et au saindoux semble stimuler la prolifération adipocytaire avec toutes les conséquences que ceci peut avoir sur l'obésité future du porc. Toutefois un mode d'alimentation restreint chez le porc en croissance semble minimiser ces conséquences.

Chez le porc en croissance, l'accroissement du taux de lipides dans l'alimentation semble favoriser les dépôts de lipides dans les tissus adipeux. Une source de matière grasse insaturée, particulièrement riche en acide linoléique, favorise le potentiel de synthèse des lipides et peut donc accroître l'adiposité de la carcasse. Ces matières grasses insaturées ayant aussi des conséquences sur la qualité technologique des tissus adipeux, on ne peut qu'en recommander une utilisation raisonnable au cours de la croissance et si possible éviter de les incorporer aux aliments des porcs au-delà de 70 kg de poids vif pour un abattage à 105-110 kg.

Si le rendement de transformation des tissus maigres dépend pour une grande part de la génétique et des conditions d'abattage des animaux, les qualités technologiques du tissu gras, ainsi que les qualités organoleptiques et nutritionnelles des fractions maigres de la viande dépendent essentiellement des facteurs nutritionnels (Lebret et Mourot 1998, Lebret *et al* 1999). En effet, les acides gras déposés dans les tissus adipeux sont un reflet des matières grasses alimentaires. Cette particularité, bien marquée chez le porc et qui va conditionner les qualités technologiques des tissus adipeux, fait actuellement l'objet de nombreuses études afin que la viande de porc soit plus riche en acides gras jugés bons pour la santé de l'homme, comme ceux de la série n-3. En plus du rôle particulier des acides gras alimentaires sur la qualité de la viande, des études récentes laissent entrevoir un rôle important de ceux-ci sur la mise en place et le développement des tissus adipeux (Boone *et al* 2000).

Après un bref rappel concernant la mise en place des tissus adipeux et le développement des activités enzymatiques au cours de la croissance, cet article abordera les effets de l'alimentation lipidique de la truie en gestation sur la mise en place des tissus adipeux du porcelet. Chez le porc en croissance, ces mêmes effets seront étudiés ainsi que le dépôt des acides gras dans le muscle. Enfin, des études *in vitro* concernant l'effet de la nature des acides gras sur la prolifération et la différenciation des précurseurs adipocytaires seront présentées. Cette dernière approche, qui peut paraître éloignée des préoccupations appliquées de l'élevage est complémentaire de ce qui se passe *in vivo* lors de la mise en place des tissus adipeux du fœtus.

1 / Rappel sur la mise en place et le développement des tissus adipeux

1.1 / Cellularité du tissu adipeux

Chez le foetus de porc, les premiers éléments du tissu adipeux apparaissent aux environs du 70^{ème} jour de gestation dans les dépôts épididymaires et péricardiques et vers le 106^{ème} jour dans le gras mésentérique (Vodovar *et al* 1971, Desnoyer et Vodovar 1974).

A la naissance, les dépôts adipeux sont insignifiants puisqu'ils ne représentent que 1 à 2 % du poids vif (Le Didividich *et al* 1991). Par la suite, la croissance est caractérisée par un développement très important du tissu adipeux dont le pourcentage par rapport au poids vif atteint rapidement 12 à 15 % dès l'âge de deux mois et 19 à 23 % vers 105 kg de poids vif (5,5 mois) chez les races à croissance rapide.

Les tissus adipeux (TA) se mettent en place de manière asynchrone dans la vie de l'animal. Les plus précoces sont les TA externes, puis ceux internes, puis ceux intermusculaires, le plus tardif étant le TA intramusculaire (Henry 1977). Leur mise en place est liée à l'âge de l'animal et non à son poids. Ceci a donc des conséquences sur le développement des tissus intramusculaires. En effet, la sélection des animaux basée sur la vitesse de croissance et sur une meilleure efficacité alimentaire a permis de réduire de manière significative l'âge à l'abattage (3 à 5 semaines en moins au cours des 40 dernières années) tout en conservant le même poids (100 à 105 kg). Les carcasses provenant d'animaux plus jeunes, dont le tissu adipeux intramusculaire est moins développé, contiennent moins de lipides, ce qui peut nuire à la qualité organoleptique de la viande.

Le développement du tissu adipeux chez le porc se déroule en trois phases successives, caractérisées respectivement par une hyperplasie (augmentation du nombre d'adipocytes) dominante entre 1 et 2 mois d'âge (20 kg), une hyperplasie et une hypertrophie entre 2 et 4,5 mois et une hypertrophie quasi exclusive au-delà, soit à plus de 70 kg de poids vif (Anderson et Kaufmann 1973). Le nombre d'adipocytes chez le porc serait fixé relativement tôt dans la vie de l'animal (Lee *et al* 1973), cependant de nouvelles cellules adipeuses pourraient se créer jusqu'à un stade avancé de la croissance (220 jours d'âge ; Henry 1977).

En définitive, l'accroissement des dépôts adipeux au cours de la croissance serait dû principalement à l'augmentation de la taille

des adipocytes en relation avec les capacités de synthèse lipidique (tableau 1). L'élévation apparente du nombre total d'adipocytes pourrait résulter en réalité du grossissement de petites cellules tout au long de la croissance (Mersmann *et al* 1975).

Les connaissances sur le tissu adipeux intramusculaire sont peu nombreuses. A la naissance, il n'est pas possible d'identifier et d'isoler les précurseurs adipocytaires dans le muscle (J. Mourot, données non publiées) alors qu'il est possible d'y parvenir dans les TA visibles. Ces précurseurs existent certainement, mais ils sont peu nombreux et les marqueurs moléculaires pour les identifier ne sont pas disponibles.

1.2 / Evolution des activités de synthèse des lipides au cours de la croissance

L'accroissement de la masse pondérale adipeuse est dû aux dépôts lipidiques dans les adipocytes. Les acides gras proviennent en partie de l'alimentation, mais surtout de la synthèse de novo qui représente plus de 80 % des lipides déposés.

Chez le porc, la lipogenèse est essentiellement localisée dans le tissu adipeux, contrairement à d'autres espèces comme les volailles ou le rat, pour lesquelles la lipogenèse hépatique est prépondérante (Henry 1977). Toutefois, avant le sevrage, elle peut être localisée dans le foie (Fenton *et al* 1985), mais elle reste relativement peu importante (Gerfault *et al* 2000). Le potentiel d'activité des enzymes lipogéniques dans le tissu adipeux augmente après le sevrage jusqu'à un maximum qui se situe entre 40 et 70 kg de poids vif pour des porcs de type génétique maigre (Anderson et Kauffman 1973, Scott *et al* 1981). Les activités sont supérieures dans les tissus adipeux internes et de couverture. Chez les porcs gras, le maximum apparaît très tôt dans la vie de l'animal (Mourot *et al* 1996).

Par rapport aux tissus adipeux visibles, la synthèse lipidique est très faible dans le muscle et elle varie peu avec le poids vif de l'animal (Mourot et Kouba 1999 ; figure 1). Il faut toutefois noter que les adipocytes isolés du muscle ont, à nombre équivalent, une capacité d'incorporation du glucose supérieure à celle des adipocytes isolés des TA visibles (Mourot *et al* 1999). La faible synthèse des lipides dans le muscle est donc une conséquence du nombre peu élevé d'adipocytes dans ce tissu et non pas d'un manque de fonctionnalité de ceux-ci.

Tableau 1. Développement morphologique du tissu adipeux (TA) chez le porc au cours de sa croissance (d'après Henry 1977).

Poids vif (kg)	28	54	83	109
Age (j)	80	117	142	168
Poids du TA dissécable (kg)	3,9	9,7	15,8	25,2
Diamètre des adipocytes dans le TA dorsal (μm)	63,0	78,8	81,5	91,8
Nombre total d'adipocytes dans le TA dorsal ($\times 10^9$)	25,4	33,2	58,6	64,5

2 / Effet des matières grasses alimentaires chez la truie en gestation et en lactation sur l'adiposité du porcelet

Chez la truie, l'utilisation accrue, dans les régimes, de co-produits issus de l'industrie agroalimentaire diminue la concentration énergétique de la ration. Cette baisse est compensée par une surcharge lipidique de l'aliment.

Figure 1. Evolution de l'activité de synthèse des lipides (activité de l'acétyl-CoA-carboxylase : ACX) et de la teneur en lipides dans le muscle semimembranosus chez le porc (races Large White et Meishan).

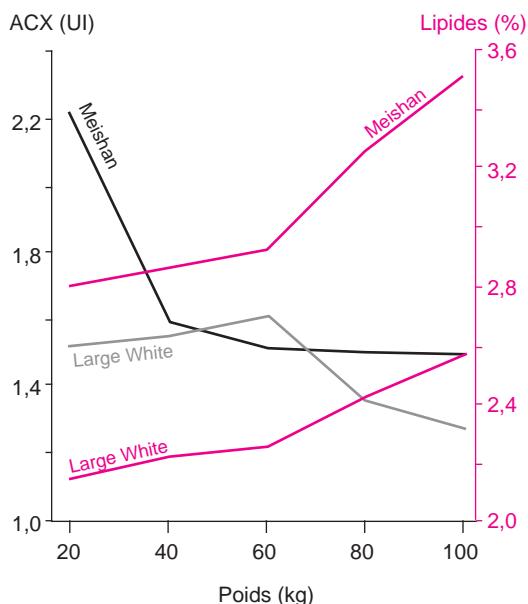


Tableau 2. Effet du taux de lipides dans l'alimentation de la truie en gestation sur la composition corporelle du porcelet à la mise bas.

Taux de lipides alimentaires	2,5 %	5 %	RSD	Effet
Poids du foie (g)	41,5	44,8	10,1	ns
Lipides du foie (%)	2,35	2,65	0,52	P<0,08
Lipides totaux du foie (g)	0,96	1,18	0,30	P<0,03
Lipides du tissu adipeux (%)	6,91	9,08	1,64	P<0,001
Lipides dans la carcasse (%)	1,21	1,47	0,27	P<0,01
Lipides totaux de la carcasse (g)	18,7	23,7	5,01	P<0,005

Tableau 3. Effet du taux de lipides dans l'alimentation de la truie en gestation sur la composition corporelle des porcelets à l'âge de 7 jours et des porcs au poids de 100 kg (TA : tissu adipeux).

Taux de lipides alimentaires	2,5 %	5 %	RSD	Effet
Porcelets de 7 jours				
Lipides du foie (%)	2,88	3,12	0,61	ns
Lipides du tissu adipeux (%)	36,75	39,92	4,56	ns
Nb précurseurs des adipocytes ($\times 10^6/g$ TA)	10,61	13,02	1,91	P<0,01
Diamètre adipocytaire (μm)	29,63	33,29	3,23	P<0,02
Nombre d'adipocytes du TA ($\times 1000/g$)	3082	2330	774	P<0,05
Porcs de 100 kg				
Poids bardière (g)	2026	1982	345	ns
Lipides du tissu adipeux (%)	69,79	71,06	5,99	ns
Diamètre adipocytaire (μm)	64,73	60,47	5,57	P<0,07
Nombre d'adipocytes du TA ($\times 1000/g$)	5612	6992	1750	P<0,06

Cette pratique conduit à se poser au moins deux questions : de tels aliments n'ont-ils pas d'effets à plus ou moins long terme sur la reproduction des truies (Castaing *et al* 1999), et quelle est la conséquence de l'accroissement du taux de lipides du régime des truies sur la mise en place et le développement des tissus adipeux des porcelets issus de ces portées.

Cette dernière question a fait l'objet d'une étude récente. Des truies, pendant leur gestation et lactation, ont reçu des régimes avec des teneurs en lipides ou des acides gras de natures différentes (Gerfault *et al* 1999).

2.1 / Effet du taux de lipides alimentaires

Des régimes contenant 2,5 % et 5 % de lipides ont été testés.

Le poids moyen des portées à la naissance est équivalent pour les truies recevant les deux régimes. Des porcelets sacrifiés dès la mise bas, avant la première tétée, ont une composition corporelle différente entre les portées. Chez les porcelets issus des truies recevant davantage de lipides alimentaires, le poids du foie est plus élevé ainsi que les teneurs en lipides du foie, du tissu adipeux dorsal et de la carcasse totale (tableau 2).

A l'âge de 7 jours, la quantité de lipides dans le foie et le tissu adipeux sous-cutané dorsal est supérieure (mais non significativement) chez les porcelets issus des truies ayant reçu le plus de lipides. Le nombre de précurseurs adipocytaires et le diamètre des adipocytes sont supérieurs chez ces mêmes portées (tableau 3).

A 100 kg de poids vif, l'adiposité globale de la carcasse n'est pas modifiée par l'origine des porcelets. Il est en de même pour le poids de la bardiére et la teneur en lipides totaux de ce tissu (tableau 3). En revanche, il existe un effet sur la cellularité du tissu adipeux sous-cutané dorsal. Le diamètre adipocytaire est plus petit chez les porcs issus des truies alimentées avec la teneur élevée en lipides, ce qui se traduit par un nombre supérieur d'adipocytes chez ces animaux, la détermination du nombre étant basée sur le volume adipocytaire, le poids spécifique des lipides et la teneur en lipides dans le tissu (Di Girolamo *et al* 1971).

Il existe une relation connue entre la cellularité et le potentiel d'obésité. Ces animaux peuvent donc présenter le risque d'une adiposité supérieure. Cela n'a pas été le cas pour notre étude car tous les animaux ont reçu une alimentation restreinte. Mais il est possible qu'avec une alimentation *ad libitum*, donc proche des conditions d'élevage sur le terrain, ces porcs puissent présenter une adiposité plus élevée, diminuant ainsi le taux de muscle de la carcasse.

Ainsi, le taux de lipides dans la ration de la truie en gestation peut influencer l'adiposité future du porcelet et du porc en croissance. Des études sont en cours pour essayer de déterminer la valeur optimale, mais le taux de 6 % de lipides dans la ration paraît efficace (Boone *et al* 2001).

2.2 / Effet de la composition en acides gras alimentaires

L'effet de la nature des acides gras a été testé chez la truie avec des régimes isolipidiques (5,5 %) à base d'huile de coprah, d'huile de tournesol ou de saindoux.

A la mise bas, le poids des portées n'est pas différent. Il en est de même pour le poids du foie. En revanche, il existe un effet du traitement sur la teneur en lipides du foie ($P<0,04$), de la carcasse ($P<0,02$) et du tissu adipeux (limite de signification). Pour tous ces paramètres, les porcelets issus des truies recevant de l'huile de tournesol ont une teneur plus élevée en lipides (tableau 4).

La composition en acides gras déterminée sur ces différents tissus a montré un effet du régime puisque l'on retrouve chez les porcelets les acides gras majoritaires représentatifs de la matière grasse alimentaire. Le sacrifice des animaux ayant eu lieu avant la première tétée, la matière grasse laitière n'est pas res-

ponsable de cet effet. Il faut donc admettre que les acides gras traversent la barrière placentaire lorsqu'ils sont introduits en quantité importante dans le régime de la truie en gestation. Les quelques études de physiologie consacrées à cette question semblaient indiquer qu'en raison de la faible perméabilité de la barrière placentaire du porc, les acides gras longs sont très peu ou pas du tout transférés aux fœtus (Elphick *et al* 1980, Newcomb *et al* 1991). Mais la teneur élevée en acide linoléique de porcelets nouveau-nés issus de truies dont le régime de gestation était supplémenté en huile de maïs (Seerley *et al* 1974) suggère que cet acide gras a traversé le placenta. Cet effet est donc retrouvé dans notre étude.

Ceci peut avoir des conséquences sur le développement futur du tissu adipeux si l'on admet que les acides gras peuvent jouer un rôle de pseudo hormone en favorisant la différenciation ou la prolifération comme cela a été montré dans des lignées cellulaires (Ailhaud *et al* 1996).

Chez les porcelets âgés de 7 jours, la teneur en lipides du foie et du tissu adipeux n'est pas affectée par les régimes de la truie (tableau 5). Le nombre de précurseurs adipocytaires est plus élevé chez les porcelets issus des truies recevant le coprah. Le diamètre des adipocytes déjà présents à ce stade est en revanche plus faible chez ces mêmes animaux, ce qui se traduit par un nombre plus élevé de cellules adipeuses.

A 100 kg de poids vif, l'adiposité des carcasses est équivalente ainsi que le poids de la bardiére et la teneur en lipides totaux de celle-ci. Un effet sur la cellularité est cependant mis en évidence. Le nombre d'adipocytes est supérieur chez les animaux issus des truies recevant de l'huile de coprah. Ce résultat est à mettre en relation avec l'observation faite sur les porcelets âgés de 7 jours, ces animaux ayant un nombre de précurseurs adipeux plus élevé. Ainsi, des préadipocytes plus nombreux vont conduire à des adipocytes matures également plus nombreux en fin de croissance.

En conclusion, le taux et la nature des lipides distribués pendant les phases de gestation et lactation chez la truie peuvent influencer l'adiposité future des porcs à 100 kg. Ceci se traduit essentiellement par une augmentation du nombre d'adipocytes, l'huile de coprah semblant avoir l'effet le plus stimulateur. Il est donc important de veiller aux taux et aux choix des matières grasses alimentaires distribuées à la truie.

Tableau 4. Effet de la composition en acides gras des régimes de la truie en gestation sur la composition corporelle du porcelet à la mise bas.

	Coprah	Tournesol	Saindoux	RSD	Effet
Poids du foie (g)	43,1	47,5	43,6	11,5	ns
Lipides du foie (%)	2,55 ^{ab}	2,97 ^a	2,43 ^b	0,50	$P<0,04$
Lipides totaux du foie (g)	1,11	1,35	1,06	0,32	$P<0,07$
Lipides du tissu adipeux (%)	8,56	9,56	9,02	1,42	ns
Lipides dans la carcasse (%)	1,43 ^{ab}	1,66 ^b	1,33 ^a	0,27	$P<0,02$
Lipides totaux carcasse (g)	23,4	26,5	21,4	5,3	$P<0,07$

Tableau 5. Effet de la nature des acides gras alimentaires chez la truie en gestation sur la composition corporelle des porcelets à l'âge de 7 jours et des porcs au poids de 100 kg (TA : tissu adipeux).

	Coprah	Tournesol	Saindoux	RSD	Effet
Porcelets de 7 jours					
Lipides du foie (%)	2,78	2,82	3,05	0,42	ns
Lipides du tissu adipeux (%)	39,83	38,48	41,44	6,51	ns
Nb précurseurs adipocyt. ($\times 10^6$ /g TA)	14,31	11,96	12,78	1,96	P<0,11
Diamètre adipocytaire (μm)	32,25	31,69	35,91	2,85	P<0,04
Nombre d'adipocytes du TA	2550	2557	1884	501	P<0,05
Porcs de 100 kg					
Poids bardière (g)	1874	2066	1951	345	ns
Lipides du tissu adipeux (%)	71,00	70,49	71,76	6,38	ns
Diamètre adipocytaire (μm)	56,59	62,99	60,91	4,95	P<0,07
Nombre d'adipocytes du TA ($\times 1000/\text{g}$)	8351	6075	6875	1611	P<0,05

3 / Effet des matières grasses alimentaires sur le développement des tissus adipeux chez le porc en croissance

Le porc est avant tout un consommateur de glucides, notamment sous forme d'amidon qui constitue un substrat privilégié pour la formation des dépôts gras, principalement par la voie de l' α -glycérophosphate, le précurseur du glycérol (Henry 1977).

L'augmentation de l'ingestion lipidique peut être la conséquence d'une distribution d'aliments plus riches en lipides mais aussi en énergie, ou d'aliments avec des taux variables de lipides mais isoénergétiques. Les conséquences sur le développement des tissus adipeux ne sont alors pas les mêmes, rendant parfois difficile l'exploitation des données bibliographiques.

Les données sur l'effet de la nature des matières grasses et les conséquences sur la qualité de la viande sont très nombreuses (synthèses de Lebret et Mourot 1998 et Lebret *et al* 1999). En revanche, celles sur les effets métaboliques dans les tissus adipeux sont peu nombreuses.

L'introduction de matières grasses à taux croissants dans des régimes isoénergétiques n'a pas d'effet sur le potentiel d'activité lipogénique du tissu adipeux chez le jeune entre 4 et 8 semaines d'âge (Mersmann *et al* 1976). Chez le porc en croissance-finition, l'augmentation de la teneur en lipides de la ration entraîne une augmentation de l'épaisseur de la bardière et une diminution du potentiel d'activité lipogénique de ce tissu, proportionnelle à la teneur en lipides de la ration (Allee *et al* 1971). Cette baisse des activités peut être due à un effet direct des acides gras alimentaires, mais aussi à une diminution de l'apport glucidique alimentaire, qui entraînerait un manque de substrat pour la synthèse des acides gras.

La comparaison de l'utilisation d'une huile saturée (coprah) et d'une huile insaturée (maïs) a mis en évidence un état d'engraissement supérieur avec l'huile insaturée (Bucharles *et al* 1987).

L'introduction d'acide linoléique à taux croissants (1,5 ; 2 ; 2,5 %) dans des régimes isoénergétiques et isolipidiques stimule le potentiel de synthèse des enzymes lipogéniques (Mourot *et al* 1994). D'une manière plus générale, une augmentation du degré d'insaturation des acides gras alimentaires se traduit par une stimulation de cette synthèse chez le porc de 100 kg (Allee *et al* 1972, Mourot *et al* 1995, Kouba et Mourot 1999) mais aussi chez le porc jeune (Freire *et al* 1998).

Les données sur la synthèse des lipides dans les tissus adipeux intramusculaires en relation avec la nature des lipides ingérés sont peu nombreuses. Il semblerait, là aussi, que les acides gras insaturés stimulent l'activité de l'acétylCoA-carboxylase, mais sans augmentation notable des activités des enzymes produisant le NADPH (Mourot *et al* 1995). Or dans le muscle, le facteur limitant pour la synthèse lipidique est le manque de NADPH (Mourot et Kouba 1999). Ainsi cette augmentation du potentiel d'activité de l'acétylCoA-carboxylase intramusculaire avec l'insaturation des lipides alimentaires ne traduit pas nécessairement une augmentation de la synthèse des lipides et par conséquent des lipides déposés (1,81 % de lipides totaux dans le muscle *longissimus dorsi* avec un régime à base d'huile de colza contre 1,67 % avec une matière grasse laitière, différence non significative ; Mourot *et al* 1995).

4 / Effet des matières grasses alimentaires sur le dépôt des acides gras dans les tissus adipeux chez le porc en croissance

La viande de porc est souvent jugée grasse par le corps médical, en raison d'une confusion faite entre l'adiposité globale de la carcasse et la teneur en lipides de la fraction maigre de la viande. En fait, les muscles du porc consommés en frais sont pauvres en lipides (1,5 à 2 % dans le *Longissimus*, contre 4 à 5 % pour le muscle équivalent chez le bovin). Chez le porc, les lipides intramusculaires présentent un rapport acides gras polyinsaturés / saturés plus élevé que celui observé chez les ruminants, en raison notamment

de teneurs relativement élevées en acides gras essentiels C18:2 et C18:3, conférant à la viande des qualités nutritionnelles intéressantes (Wood et Enser 1996).

La composition en acides gras des lipides intramusculaires est influencée par la composition en acides gras du régime, toutefois cette relation est moins forte que dans les tissus adipeux externes (Girard *et al* 1988, Mourot *et al* 1992). Cette particularité de l'animal monogastrique permet de modifier par voie nutritionnelle la composition en acides gras de la viande afin de répondre à la demande des consommateurs et des nutritionnistes qui recherchent une proportion élevée d'acides gras polyinsaturés.

Les résultats observés chez le porc à 100 kg de poids vif se retrouvent également chez le porc lourd abattu à 160 kg et destiné à la transformation en jambon de Parme. La distribution de régimes contenant des matières grasses insaturées permet d'augmenter la teneur de la viande en acides gras polyinsaturés (tableaux 6 et 7).

Tableau 6. Effet de différentes matières grasses alimentaires sur la composition en acides gras du tissu adipeux sous-cutané dorsal chez le porc lourd (d'après Pantaleo *et al* 2000). La composition est donnée en % des acides gras identifiés.

Matières grasses	Suif	Maïs	Colza	SEM	Effet
C14:0	1,68 ^a	1,44 ^b	1,43 ^b	0,15	P<0,001
C16:0	24,23 ^a	23,35 ^a	22,83 ^a	1,27	P<0,06
C16:1	2,20 ^a	1,72 ^b	1,76 ^b	0,31	P<0,002
C18:0	11,88	12,00	11,31	1,20	ns
C18:1	44,55 ^a	39,47 ^b	43,75 ^a	2,27	P<0,001
C18:2	12,62 ^a	19,53 ^b	14,84 ^c	2,13	P<0,001
C20:0	0,21	0,26	0,26	0,11	ns
C18:3	0,76 ^a	0,81 ^a	1,86 ^b	0,16	P<0,001
C20:1	1,26 ^a	1,02 ^b	1,10 ^{ab}	0,16	P<0,01
C20:4	0,61	0,40	0,86	0,8	ns
Coeff. d'insaturation ⁽¹⁾	1,26 ^a	1,35 ^b	1,33 ^b	0,05	P<0,001
Polyinsaturés / Saturés	0,37 ^a	0,56 ^b	0,49 ^b	0,07	P<0,001

Les valeurs en ligne affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

⁽¹⁾ Calculé d'après Girard *et al* 1988.

Tableau 7. Effet de différentes matières grasses alimentaires sur la composition en acides gras du muscle semimembranosus chez le porc lourd (d'après Pantaleo *et al* 2000). La composition est donnée en % des acides gras identifiés.

Matières grasses	Suif	Maïs	Colza	SEM	Effet
C14:0	1,53	1,51	1,44	0,33	ns
C16:0	24,92	24,38	24,48	1,19	ns
C16:1	2,70	2,88	2,89	0,44	ns
C18:0	12,29	11,62	11,54	0,89	ns
C18:1	44,08 a	41,29 b	42,71 ab	1,68	P<0,002
C18:2	10,99 a	13,90 b	12,04 ab	1,82	P<0,003
C20:0	0,21 a	0,22 a	0,33 b	0,10	P<0,01
C18:3	0,44 a	0,48 a	0,98 b	0,14	P<0,001
C20:1	0,69 a	0,84 ab	1,07 b	0,27	P<0,01
C20:2	0,43 a	0,62 b	0,55 ab	0,11	P<0,04
C20:3	0,27	0,32	0,30	0,13	ns
C20:4	1,45 a	1,94 a	1,67 a	0,46	P<0,10
Coeff. d'insaturation ⁽¹⁾	1,27 a	1,33 b	1,30 ab	0,04	P<0,007
Polyinsaturés / Saturés	0,35 a	0,46 b	0,41 ab	0,07	P<0,01

Les valeurs en ligne affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

⁽¹⁾ Calculé d'après Girard *et al* 1988.

Cependant, l'utilisation des matières grasses insaturées recommandée pour les qualités nutritionnelles va à l'encontre de ce qui est préconisé pour les qualités technologiques de la viande. L'oxydation qui peut survenir en cas de forte insaturation des acides gras dans les tissus adipeux externes peut également se développer dans le muscle. Le rancissement est alors augmenté. Selon Girard *et al* (1988), la teneur en acide linoléique des tissus de couverture ne doit pas dépasser 12 à 15 % des acides gras totaux pour éviter les problèmes lors de la transformation et la conservation, ce qui correspond à une teneur de 1,2 à 1,5 % de C18:2 dans l'aliment. Selon Van Oeckel *et al* (1996), la teneur en acide linolénique du régime peut être augmentée jusqu'à 3 % des constituants alimentaire sans conséquence sur la qualité organoleptique de la viande fraîche. Mais Ahn *et al* (1996) rapportent qu'une teneur en acide linolénique de 12 % dans le muscle (ce qui correspond à 1,6 - 1,8 % dans le régime) entraîne le développement de réactions d'oxydation et produit un effet négatif sur l'acceptabilité de la viande cuite lorsqu'elle n'est pas conservée sous vide.

Ainsi, en prenant garde de ne pas altérer les qualités organoleptiques, il est donc possible d'envisager d'améliorer la qualité nutritionnelle de la viande par des supplémentations de la ration en acides gras jugés bons pour la santé de l'homme (acides gras de la série n°3, acides gras conjugués). Toutefois, les données disponibles concernent la viande avant transformation et nous ne connaissons pas (ou peu) ce qui se passe lors de la cuisson et ce qui sera réellement consommé par l'homme. Des études sont donc nécessaires à mettre en place par les spécialistes de la nutrition humaine en collaboration avec les zootechniciens.

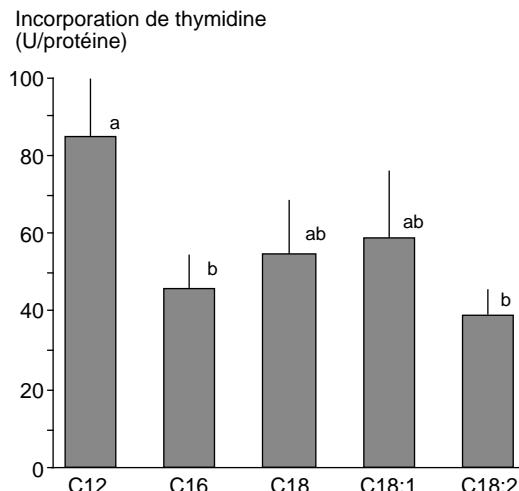
5 / Effet *in vitro* des acides gras sur l'adipoconversion

Les études *in vitro*, souvent loin des préoccupations immédiates de l'élevage, sont un complément pour la compréhension de ce qui se passe *in vivo* avec le souci de répondre à terme aux questions de la profession. Les acides gras, dont l'importance a été montrée *in vivo*, jouent un rôle sur l'adipoconversion *in vitro*. Ce sont en effet des médiateurs importants de la différenciation (Boone *et al* 2000).

Les acides gras saturés induisent l'expression des gènes impliqués dans la mise en place des tissus adipeux plus efficacement que les acides gras insaturés, par une accélération de la prolifération des préadipocytes (Shillaber *et al* 1989 et 1994, Ailhaud *et al* 1996).

L'introduction d'acides gras (100 nM) dans des cultures de préadipocytes a permis de montrer que la prolifération est plus importante avec un acide gras court (C12) qu'avec des acides gras à chaîne moyenne ou longue (figure 2). Ce résultat est à rapprocher de ce qui a été montré précédemment chez les truies recevant des régimes contenant de l'huile de coprah (teneur importante en C12) où le nombre de précurseurs adipocytaires était plus élevé (cf tableau 5). Les acides gras courts semblent donc favoriser la prolifération.

Figure 2. Prolifération des préadipocytes (mesure de l'incorporation de thymidine) au 3^{ème} jour de culture selon l'acide gras introduit dans le milieu (concentration à 100 µ molaires).



La différenciation des cellules (ce qui correspond à l'acquisition des marqueurs de la lipogenèse), estimée par le pourcentage de cellules chargées en lipides est sensiblement équivalente pour les acides gras testés, à l'exception de l'acide linoléique (figure 3). Pour cet acide gras, nous avons observé une mort cellulaire importante que l'on peut rapprocher d'un effet de cytotoxicité. Il est possible que l'acide linoléique, incorporé en trop grande quantité dans les membranes, les ait fortement fragilisées.

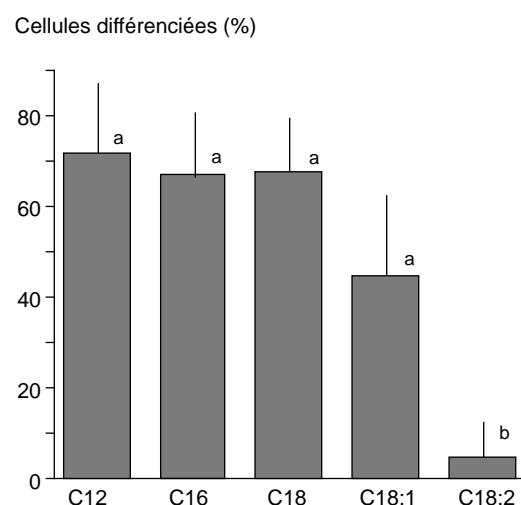
La nature de l'acide gras semble donc jouer un rôle plus important sur la prolifération des préadipocytes que sur leur différenciation. La comparaison avec les résultats *in vivo* ne peut être qu'une approche de ce qui se passe réellement, d'autant qu'un acide gras pur n'aura pas forcément le même rôle qu'en mélange ou sous forme de triglycérides, comme c'est le cas des huiles alimentaires.

Conclusion

Dans l'alimentation du porc, le choix du taux et de la nature des acides gras alimentaires influence non seulement les qualités technologiques et nutritionnelles de la viande mais aussi la mise en place et le développement des tissus adipeux. Le choix de la matière grasse reste difficile. En effet, l'utilisation d'une huile insaturée qui peut être positive pour les qualités nutritionnelles de la viande grâce aux dépôts de ses acides gras jugés bons pour la santé humaine, qui peut être positive également pour les qualités organoleptiques par l'augmentation de la teneur en lipides totaux intramusculaires, ne l'est certainement pas pour les qualités technologiques des tissus adipeux.

Ainsi, à moins de trouver une matière grasse idéale pouvant satisfaire à la fois le technologue et le diététicien (sans oublier l'aspect économique pour l'éleveur), il faut se poser la question de savoir s'il continue d'être raisonnable de vouloir produire une viande destinée

Figure 3. Pourcentage de cellules différencierées (jour 6) selon l'acide gras introduit dans le milieu de culture (concentration à 100 µ molaires).



à la fois à la consommation en frais, à la transformation en produits cuits, en produits hachés et en produits secs. Une segmentation du marché en relation avec la qualité des produits finis que l'on souhaite obtenir est certainement à envisager. Une telle mise en place

n'est pas que du seul ressort des spécialistes de la nutrition animale, mais de toute les filières de production, d'abattage et de transformation. L'avenir de la production porcine passe t-elle par cette mise en place ?

Références

- Ahn D.U., Lutz S., Sim J.S., 1996. Effects of dietary a-linolenic acid on the fatty acid composition, storage stability and sensory characteristics of pork loin. *Meat Sci.*, 43, 291-299.
- Ailhaud G., Amri E.Z., Grimaldi P.A., 1996. Fatty acids and expression of lipid related genes in adipose cells. *Proc. Nutr. Soc.*, 55, 151-154.
- Allee G.L., Baker D.H., Leveille G.A., 1971. Influence of level of dietary fat on adipose tissue lipogenesis and enzymatic activity in the pig. *J. Anim. Sci.*, 33, 1248-1254.
- Allee G.L., Romsoos D.R., Leveille G.A., Baker D.H., 1972. Lipogenesis and enzymatic activity in pig adipose tissue as influenced by source of dietary fat. *J. Anim. Sci.*, 35, 41-47.
- Anderson D.B., Kauffman R.G., 1973. Cellular and enzymatic changes in porcine adipose tissue during growth. *J. Lipid Res.*, 14, 160-168.
- Boone C., Mourot J., Grégoire F., Remacle C., 2000. The adipose conversion process: regulation by extracellular and intracellular factors. *Reprod. Nutr. Dev.*, 40, 325-358.
- Boone C., Cadoret A., Père M.C., Etienne M., Mourot J., 2001. Effet du taux et de la nature des lipides du régime de gestation et de lactation des truies sur le développement des tissus adipeux des porcelets. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 157-164.
- Bucharles C., Girard J.P., Desmoulin B., Yuan C.W., Bonnet M., 1987. Influence de la nature des lipides ingérés et du type sexuel sur la composition et les propriétés fonctionnelles des tissus adipeux sous-cutanés du porc. *Revue française Corps Gras*, 34, 68-75.
- Castaing J., Cambeilh D., Etienne M., Courboulay V., 1999. Comparaison, chez la truie reproductrice, d'un régime simple à base de céréales à deux régimes complexes isoénergétiques, par l'association de fibres et de matière grasse. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 207-214.
- Desnoyer F., Vodovar N., 1974. Apparition, origine et évolution des tissus adipeux épидidymaire et péricardique du fœtus de porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 14, 769-780.
- Di Girolamo M., Mendlinger S., Fertig J.W., 1971. A simple method to determine fat cell size and number in four mammalian species. *Am. J. Physiol.*, 221, 850-858.
- Elphick M.C., Flecknell P., Hull D., McFayden I.R., 1980. Plasma free fatty acid umbilical venous-arterial concentration differences and placental transfer of [¹⁴C] palmitic acid in pigs. *J. Dev. Physiol.*, 2, 347-356.
- Fenton J.P., Roehrig K.L., Mahan D.C., Corley J.R., 1985. Effect of swine weaning and age on body fat and lipogenic activity in liver and adipose tissue. *J. Anim. Sci.*, 60, 190-199.
- Freire J.P., Mourot J., Cunha L.F., Almeida J.A.A., Aumaitre A., 1998. Effect of the source of dietary fat on post-weaning lipogenesis in lean and fat genotypes of pigs. *Ann. Nutr. Metab.*, 42, 90-95.
- Gerafaut V., Mourot J., Etienne M., Mounier A., 1999. Influence de la nature des lipides dans le régime de gestation de la truie sur ses performances et la composition corporelle des porcelets à la naissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 191-197.
- Gerafaut V., Louveau I., Mourot J., Le Dividich J., 2000. Lipid deposition and lipogenesis in subcutaneous adipose tissue and skeletal muscle from neonatal pigs consuming maternal or formula milk. *Reprod. Nutr. Dev.*, 30, 103-112.
- Girard J.P., Bout J., Salort D., 1988. Lipides et qualités du tissu adipeux, facteurs de variation. *Journées Rech. Porcine en France*, 20, 255-278.
- Henry Y., 1977. Développement morphologique et métabolique du tissu adipeux chez le porc : influence de la sélection, de l'alimentation et du mode d'élevage. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 17, 923-952.
- Kouba M., Mourot J., 1999. Effect of a high linoleic acid diet on lipogenic activities and on the composition of the lipid fraction of fat and lean tissues in the pig. *Meat Sci.*, 52, 39-45.
- Lebret B., Mourot J., 1998. Caractéristiques et qualité des tissus adipeux chez le porc. Facteurs de variation non génétiques. *INRA Prod. Anim.*, 11, 131-143.
- Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. Caractéristiques et qualité des tissus musculaires chez le porc. Facteurs de variation non génétiques. *INRA Prod. Anim.*, 12, 11-28.
- Le Dividich J., Esnault T.H., Lynch B., Hoo-Paris R., Castex C.H., Peinieu J., 1991. Effect of colostral fat deposition and plasma metabolite in the new born pig. *J. Anim. Sci.*, 69, 2480-2488.
- Lee Y.B., Kauffman R.G., Grummer R.H., 1973. Effect of early nutrition on the development of adipose tissue in the pig. 1. Age constat basis. *J. Anim. Sci.*, 37, 1312-1318.
- Mersmann H.J., Goodman J.R., Brown L.J., 1975. Development of swine adipose tissue morphology and chemical composition. *J. Lipid Res.*, 16, 269-279.
- Mersmann H.J., Allen C.D., Steffen D.G., Brown L.G., Danielson D.M., 1976. Effect of age, weaning and diet on swine adipose tissue and liver lipogenesis. *J. Anim. Sci.*, 43, 140-150.
- Mourot J., Kouba M., 1999. Development of intramuscular adipose tissue and effects on meat quality in growing Large White and Meishan pigs. *Reprod. Nutr. Dev.*, 39, 125-132.
- Mourot J., Aumaitre A., Mounier A., 1992. Interaction entre vitamine E et acide linoléique alimentaires : effet sur la composition de la carcasse, la qualité et la conservation des lipides de la viande chez le porc. *Sciences des Aliments*, 12, 37-55.
- Mourot J., Peinieu P., Mounier A., 1994. Effets de l'acide linoléique alimentaire sur l'activité des enzymes de la lipogénèse dans les tissus adipeux chez le porc. *Reprod. Nutr. Dev.*, 34, 213-220.
- Mourot J., Camara M., Février C., 1995. Effect of vegetable and animal dietary fats on lipogenesis in pigs. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, 318, 965-970.
- Mourot J., Kouba M., Bonneau M., 1996. Comparative study of in vitro lipogenesis in various adipose tissues in the growing Meishan pig. Comparison with the Large White pig. *Comp. Biochem. Physiol.*, 115, 383-388.
- Mourot J., Kouba M., Salvatori G., 1999. Facteurs de variation de la lipogénèse dans les adipocytes et les tissus adipeux chez le porc. *INRA Prod. Anim.*, 12, 311-318.
- Newcomb M.D., Hamon D.L., Nelsenn J.L., Thulin A.J., Allee G.L., 1991. Effect of energy source fed to sows during late gestation on neonatal blood metabolite homeostasis, energy stores and composition. *J. Anim. Sci.*, 69, 230-236.
- Pantaleo L., Mourot J., Bontempo V., Salvatori G., Pastorelli G., Mounier A., Corino C., 2000. Effet de la nature lipidique des régimes sur la composition en acides

gras du jambon chez le porc lourd. Journées Rech. Porcine en France, 32, 311-318.

Scott R.A., Cornelius S.G., Mersmann H.J., 1981. Effects of age on lipogenesis and lipolysis in lean and obese swine. *J. Anim. Sci.*, 52, 505-511.

Seerley R.W., Pace T.A., Foley C.W., Scarth R.D., 1974. Effect of energy intake prior to parturition on milk lipids and survival rate, thermostability and carcass composition of piglets. *J. Anim. Sci.*, 38, 64-70.

Shillaber G., Lau D.C., 1994. Regulation of new fat cell formation in rats; role of dietary fats. *J. Lipid Res.* 35, 592-600.

Shillaber G., Forden J.M., Lau D.C., 1989. Induction of

preadipocyte differentiation by mature fat cells in the rat. *J. Clin. Invest.* 84, 381-387.

Van Oeckel M.J., Casteels M., Warnants N., Van Damme L., Bouqué C.V., 1996. Omega-3 fatty acids in pig nutrition: implications for the intrinsic and sensory quality of the meat. *Meat Sci.*, 44, 55-63.

Vodovar N., Desnoyer F., François A.C., 1971. Origine et évolution des adipocytes mésentériques du porcelet avant la naissance. *J. Microscopie*, 11, 265-284.

Wood J.D., Enser M., 1996. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. International conference 'Fats in the diet of animals and man', Birmingham, UK, 4 p.

Abstract

Development of subcutaneous and intramuscular adipose tissue and quantitative and qualitative factors of variation in the pig.

The choice of the fat matter in pig feeding is especially important. A relation exists between the dietary fatty acids and those that are stored in the adipose tissue and in the muscle. This choice influences meat quality. Some recent studies showed an important role of the rate and source of the fatty acid diet on the setting up and the adipose tissue development in the foetus during pregnancy.

In sows, the dietary lipid rate increases the adiposity of the carcass in the piglet at birth and stimulates the proliferation of adipocyte precursors that, thereafter, will give adipocytes. An excessive rate of lipid diet during pregnancy can therefore lead to a more elevated adiposity in the pig.

The source of the fatty acids also influences these same parameters. Coconut oil, compa-

red with sunflower oil and lard seems to stimulate proliferation of adipocytes with consequences on the future obesity of pigs. However, a restricted feeding in growing pigs seems to minimise these consequences.

In growing pigs, the increase of the dietary lipid rate seems to stimulate the lipid content of adipose tissues. An unsaturated fat matter, particularly high in linoleic acid, stimulates the potential of lipid synthesis and can therefore increase the adiposity of the carcass. These unsaturated fat matters also have consequences on the technological quality of the adipose tissue; we recommend a reasonable utilisation during growth and if possible, to avoid them after 70 kg for a slaughtering at 105-110 kg.

MOUROT J., 2001. Mise en place des tissus adipeux sous-cutanés et intramusculaires et facteurs de variation quantitatifs et qualitatifs chez le porc. INRA Prod. Anim., 15, 355-363.

