

# **Production laitière de la truie : Estimation, composition, facteurs de variation et évolution**

M. ÉTIENNE (1), C. LEGAULT (2), J.-Y. DOURMAD (1), J. NOBLET (1)

*Institut National de la Recherche Agronomique*

*(1) Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles*

*(2) Station de Génétique Quantitative et Appliquée - 78352 Jouy-en-Josas Cedex*

## **Production laitière de la truie : estimation, composition, facteurs de variation et évolution**

Ce rapport fait la synthèse des connaissances sur la production et la composition du lait chez la truie, ainsi que sur leurs facteurs de variation. Il est possible d'estimer avec une bonne précision la production laitière des truies à partir de la vitesse de croissance des porcelets jusqu'au sevrage. Bien qu'elle ne soit pas prise en compte directement dans le critère de sélection, l'aptitude génétique des truies à la production de lait a progressé parallèlement à l'amélioration de leur productivité. Cette production a doublé au cours des 30 dernières années, et la quantité de lait produit par porcelet s'est accrue en dépit de l'augmentation de la taille de la portée. La production laitière des truies augmente avec la taille de la portée et dépend de divers facteurs liés à la truie (numéro de portée, stade de lactation) ou aux porcelets (poids de naissance, intervalle entre tétées), ainsi que du milieu ambiant (durée du jour, bruit, température). La composition du lait évolue pendant la lactation. Mais en-dehors de cette évolution caractéristique, seule la fraction lipidique semble pouvoir être modifiée, en particulier par le taux et la nature des lipides de l'aliment. Une carence nutritionnelle en énergie ou en acides aminés n'affecte pas la production laitière tant que la truie est capable de compenser ce déficit en puisant sur ses réserves corporelles.

## **Milk production in the sow: estimation, composition, factors of variation and evolution**

The present report synthesises the knowledge on milk production and composition in sows, and on their factors of variation. Sow milk production can be estimated with a good accuracy through piglet growth rate between birth and weaning. Despite it is not taken into account in selection criteria, the genetic ability to milk production has been improved together with the increase of sow productivity. Milk production has about doubled during the last 30 years, and milk produced per piglet was improved despite the litter size increase. Sow milk production increases with litter size and depends on various factors related to the sow (parity number, lactation stage) or to the piglets nursed (birth weight, interval between suckings), and on environmental parameters (day length, noise, temperature). Milk composition varies during lactation. But apart this characteristic evolution, only the lipid fraction can be modified through the lipid content of the diet. An energetic or amino acid deficiency does not affect milk production of sows as long as the sow is able to compensate it by mobilising its body reserves.

## INTRODUCTION

Depuis une trentaine d'années, l'âge au sevrage des porcelets a connu une évolution importante. De façon à accroître la productivité des truies en diminuant l'intervalle entre portées, il est passé de 8 à 4 ou 3 semaines dans les élevages. La durée de la lactation est actuellement stabilisée à environ 4 semaines (26,3 jours en moyenne en France d'après les résultats de la gestion technique 1998). Ainsi, la production de lait de la truie a gardé toute son importance puisque jusqu'au sevrage, le porcelet consomme très peu d'aliment sec. Sa survie et sa croissance pendant la lactation dépendent donc exclusivement de sa consommation de colostrum et de lait. C'est dire que la quantité et la composition du lait produit constituent des paramètres déterminants pour apprécier les qualités maternelles des truies. Dans cette synthèse, les méthodes d'estimation de la production laitière et de la quantité de nutriments exportés dans le lait seront présentées. Après avoir fait le point des connaissances sur les aptitudes génétiques à la production laitière, les facteurs de variation de la quantité et de la composition du lait des truies seront passés en revue.

### 1. MESURE DE LA PRODUCTION LAITIÈRE CHEZ LA TRUIE

La mesure de la production laitière chez la truie présente un intérêt théorique: connaissance des quantités produites et de leurs variations, des effets de l'alimentation ou des conditions d'environnement, du génotype, etc. Mais sa détermination est également importante pour des raisons pratiques. En effet, elle est nécessaire à l'établissement des recommandations d'apport nutritionnels basées sur une approche factorielle qui tient compte du poids de la truie pour l'énergie, et de ses performances pour l'énergie et les acides aminés (NOBLET et al., 1990; ÉTIENNE et al., 1989; DOORMAD et al., 1991, 1998). Il est donc indispensable de connaître, au moins approximativement, la production laitière de la truie si l'on veut maintenir ses réserves corporelles à un niveau compatible avec des performances de reproduction optimales.

La détermination de la production laitière et de l'exportation de nutriments dans le lait est particulièrement délicate chez la truie, car une décharge d'ocytocine est nécessaire à l'éjection du lait, et les tétées sont fréquentes (environ une trentaine par jour). Des méthodes basées sur la mesure du gain de poids de la portée pendant la tétée (SALMON-LEGAGNEUR, 1965; SPEER et COX, 1984) ou sur la traite de la truie après injection d'ocytocine (VAN SPAENDONCK, 1972) ont été utilisées, mais ces techniques sont lourdes, coûteuses en temps et demandent beaucoup de précautions pour être précises. Plus récemment, la production laitière a été mesurée en utilisant l'eau lourde (D<sub>2</sub>O) comme un traceur permettant d'estimer le turn over de l'eau chez les porcelets (PETTI-GREW et al., 1985). Lorsqu'elle est mise en oeuvre avec soin, cette méthode est beaucoup plus précise que les précédentes. Mais en raison de la rapidité du turn over de l'eau corporelle, elle doit être appliquée à plusieurs reprises durant la lactation (SCHOENHERR et al., 1989).

Ces techniques employées dans un cadre expérimental ne peuvent bien entendu être utilisées dans la pratique. Des estimations basées sur la relation existant entre la vitesse de croissance des porcelets, assez aisée à mesurer en élevage, et leur consommation de lait ont été proposées. Les résultats qui avaient été obtenus aboutissaient à une estimation peu fiable de la production laitière dans la plupart des travaux réalisés ( $r \neq 0,5$ ), tels ceux de SALMON-LEGAGNEUR (1958) ou de LEWIS et al. (1978). Nous avons repris cette approche dans une étude où la production laitière des truies était mesurée tous les 4 jours entre le 1<sup>er</sup> et le 22<sup>ème</sup> jours de lactation par la méthode de la pesée des porcelets avant et après les tétées (NOBLET et ÉTIENNE, 1989). Nous avons cherché à limiter les risques d'erreurs liés à cette technique en prenant le maximum de précautions (utilisation d'une balance permettant de peser 60 kg avec une précision de 1g et munie d'un dispositif d'intégration, stimulation de la miction avant les tétées, surveillance des tétées, mesures sur 10 tétées successives espacées d'une heure et élimination des deux premières, prise en compte de la perte de poids d'origine métabolique qui intervient pendant la tétée...). De plus, nous avons cherché à estimer non pas la production du lait, dont la teneur en eau varie, mais l'exportation d'azote et d'énergie à laquelle la croissance de la portée est a priori mieux reliée. La composition du lait était déterminée sur des échantillons représentatifs de la tétée obtenus par traite de toutes les tétines fonctionnelles le lendemain des mesures. Parallèlement, la quantité de nutriments consommés par les porcelets allaités était également estimée de façon indirecte sur les porcelets en évaluant leur production de chaleur à intervalles réguliers pendant la lactation et en mesurant les quantités d'énergie et de protéines qu'ils avaient fixées grâce à la détermination de leur composition corporelle au sevrage. La confrontation de ces mesures a permis d'aboutir aux équations de prédiction du tableau 1.

**Tableau 1** - Estimation de la production de matière sèche (MS), d'énergie (E) et d'azote (N) du lait des truies au cours d'une lactation de 21 jours (Noblet et Étienne, 1989)

Équation	R <sup>2</sup> (1)
MS = 0,72 (± 0,07) × GMQ - 7	0,87
E = 4,92 (± 0,49) × GMQ - 90	0,87
N = 0,0257 (± 0,0022) × GMQ + 0,42	0,90

(1) Coefficient de corrélation multiple

MS et N, en g/porcelet/jour; E, en kcal/porcelet/jour.

GMQ, vitesse de croissance moyenne/porcelet, en g

Ces équations permettent donc de connaître avec une bonne précision les quantités de matière sèche, d'énergie et d'azote exportées quotidiennement par les truies à partir de la vitesse de croissance de leurs porcelets. Si l'on veut estimer la quantité de lait correspondante, il suffit de diviser la quantité de l'un des nutriments produits par sa teneur moyenne dans le lait (par exemple, par 18/100 dans le cas de la matière sèche). Ces équations ont été établies sur des lactations de 3 semaines en raison de contraintes méthodologiques, mais elles peuvent s'appliquer à des lactations de 4 semaines sans

que l'on commette une erreur importante. Cependant, lorsque la consommation d'aliment complémentaire par les porcelets est importante il faut en tenir compte de façon à ne pas surestimer la production laitière.

## 2. PRODUCTION ET COMPOSITION DU LAIT CHEZ LA TRUIE

La production et la composition du lait chez la truie sont des critères régulièrement pris en compte dans certaines expériences, notamment celles qui visent à déterminer les besoins nutritionnels des femelles pendant la lactation. Les travaux ayant pour but la description des principales caractéristiques du lait de truie sont déjà anciens et n'ont jamais été réactualisés. Les informations dans ce secteur sont disponibles notamment dans la thèse de SALMON-LEGAGNEUR (1965) et une synthèse d'ELSLEY (1971). Par contre, des études sur les facteurs de variation de la production laitière ont été effectués très récemment, et leurs résultats synthétisés par ÉTIENNE et al. (1998).

### 2.1. Production laitière

La productivité des truies s'est considérablement accrue au cours des 20 dernières années, en grande partie grâce à l'augmentation de la prolificité. Diverses approches, et notamment l'étude des paramètres génétiques, permettent de savoir si la production laitière a également évolué.

#### 2.1.1. Aspects génétiques de l'aptitude laitière chez la truie

Dès la mise en service du programme national de gestion technique des troupeaux de truies qui impliquait un abandon délibéré des pesées de porcelets (LEGAULT et al., 1971), l'amélioration génétique de la productivité des truies s'organisait autour de la généralisation des schémas de croisement complétée par la création des lignées dites "hyperprolififiques" dans les races Large White, puis Landrace et plus tard par l'arrivée des lignées sino-européennes. Un progrès génétique important ayant été réalisé tant sur la prolificité que sur la productivité des truies, l'examen des paramètres génétiques de l'ensemble des critères de reproduction permet d'en estimer les effets indirects sur l'aptitude laitière.

L'analyse des possibilités d'amélioration génétique de la production laitière des truies repose d'abord sur la connaissance des paramètres génétiques de base comme l'héritabilité, les effets d'hétérosis (directs et maternels) et les corrélations génétiques avec les autres caractères sélectionnés (efficacité de la croissance musculaire et prolificité notamment). Il convient également d'examiner l'existence d'éventuelles liaisons avec des marqueurs phénotypiques (nombre de tétines par exemple) ou moléculaires.

#### • Paramètres génétiques

Pour tout caractère quantitatif, la connaissance de l'héritabilité ( $h^2$ ) est la clé de toute décision en matière de sélection. Il y a plus de 40 ans que ce paramètre est bien connu et de l'ordre de 25 % pour la production laitière chez les bovins. Il

est donc logique de penser à priori que l'héritabilité de la production laitière de la truie est moyenne et proche de 25 %. La plupart des estimations dont on dispose concernent en fait le poids de la portée à 21 jours. Selon la revue de ROTHSCHILD et BIDANEL (1998), la valeur moyenne obtenue sur 15 estimations est de 0,17 avec une étendue des estimations allant de 0,07 à 0,38. L'héritabilité de la production laitière a été estimée directement sur un échantillon modeste (259 truies) par YORK et ROBISON (1985) et la valeur de ce paramètre est de 0,20 ou de 0,28 selon la méthode d'estimation.

L'abandon de la pesée de la portée à 21 jours (contraignante pour l'éleveur et fréquemment réalisée d'une manière très approximative) au profit d'un simple dénombrement des porcelets était largement justifié par l'existence d'une corrélation phénotypique entre taille et poids de la portée à tous les stades de l'allaitement (corrélations variant de 0,80 à 0,92 selon SALMON-LEGAGNEUR et al. (1966) et LEGAULT (1970)). Dès que l'on a pu disposer d'un nombre suffisant d'estimations de la corrélation génétique entre les mêmes critères, celle-ci s'est révélée équivalente à la corrélation phénotypique avec une valeur moyenne de 0,87 selon la synthèse de ROTHSCHILD et BIDANEL (1998). Plus intéressantes encore sont les corrélations génétiques entre la taille de la portée à la naissance (le critère de sélection) et le poids de la portée à 21 jours dont les valeurs moyennes sont respectivement de 0,61 et de 0,49 pour les nés vivants et les nés totaux par portée (ROTHSCHILD et BIDANEL, 1998). Une première conséquence de ces liaisons génétiques élevées est que tout progrès génétique réalisé sur la prolificité augmentera le poids de la portée à 21 jours, et par conséquent la production laitière.

Les corrélations génétiques entre la prolificité et les critères de production sont dans l'ensemble nulles ou légèrement défavorables (LEGAULT, 1971; BIDANEL et DUCOS, 1995; Maignel et al., 1998). Dans les deux dernières estimations, une relation légèrement défavorable était observée en race Large White entre la taille de la portée à la naissance et la croissance (âge à 100 kg). En revanche, le progrès génétique réalisé sur la vitesse de croissance se répercute sur les poids à la naissance et surtout à l'âge de 21 jours.

Le nombre de tétines est moyennement héritable (héritabilité comprise entre 0,20 et 0,30) et pratiquement indépendant de la taille de la portée à la naissance et des critères de production (LIGONESCHE et al., 1995). L'effet du nombre de tétines sur la taille et le poids de la portée au sevrage est non significatif dans les lignées spécialisées pour la production de verrats terminaux (LIGONESCHE et al., 1995) alors qu'il devient hautement significatif dans les lignées de type maternel (ZHANG et al., 1999). Dans les lignées prolifiques en effet, l'insuffisance du nombre de tétines fonctionnelles devient un facteur déterminant pour la survie des porcelets.

Contrairement à la vache laitière, le nombre de marqueurs moléculaires actuellement connus pour leur effet positif sur la production laitière est pratiquement nul chez le porc. Signalons toutefois l'existence de deux QTL (Quantitative Trait Loci) influençant favorablement le nombre de tétines et

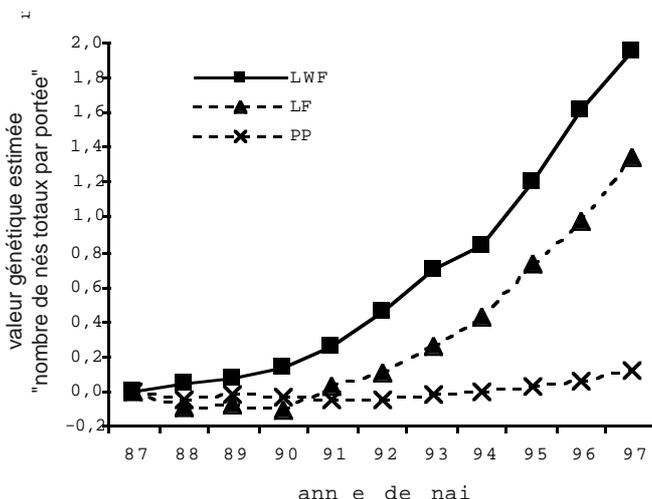
localisés respectivement sur les chromosomes n°7 et n°17 (BIDANEL, 1999). Deux éléments importants différencient la vache laitière de la truie allaitante: les premières sont pratiquement toutes conduites en race pure alors que 92 % des truies reproductrices en France sont issues de croisement; d'autre part, négligeable ou faible chez les premières, l'effet d'hétérosis sur le poids de la portée (et par conséquent sur la production laitière) est important ou très important selon la "distance génétique" séparant les lignées grand parentales (SELLIER, 1976; ROTHSCHILD et BIDANEL, 1998).

Ainsi, dans le cas le plus courant d'une truie parentale Large White x Landrace utilisée avec un verrat d'une 3ème race, l'effet d'hétérosis sur le poids de la portée à 21 jours est proche de 20 % (SELLIER, 1976). Dans le cas de truies croisées Meishan \* Large White, l'effet d'hétérosis sur le poids de la portée à 21 jours est beaucoup plus élevé et proche de 40 % (BIDANEL et al., 1989). Dans cette dernière étude, sur un effet global de 28 kg, 8 kg peuvent être attribués à l'effet d'hétérosis direct (croissance des porcelets), les 20 kg restants étant dus à l'effet d'hétérosis d'origine maternelle (prolificité et production laitière).

#### • La situation en France

Dans le but d'améliorer génétiquement la prolificité dans les races ou lignées destinées au croisement, deux voies indépendantes mais complémentaires ont été choisies par les responsables de la sélection et sont entrées progressivement en application. Il s'agit de la sélection des lignées dites "hyperprolifiques" d'une part, et de la création des lignées sino-européennes d'autre part. Leurs nombreux avantages ont été récemment analysés et discutés par LEGAULT (1998). Le recours aux lignées hyperprolifiques est passé du stade expérimental (LEGAULT et GRUAND, 1976; LE ROY et al., 1987; PETIT et al., 1988) à une application à l'échelle nationale avec le recours au BLUP - modèle animal pour la détection des reproducteurs exceptionnels (BIDANEL et DUCOS, 1994; TRIBOUT et al., 1998). Le progrès génétique réalisé sur la taille de la portée à la naissance est illustré par la figure 1 pour les races Large White (LW), Landrace Français (LF) qui rejoignent le programme hyperprolifique vers 1990 et

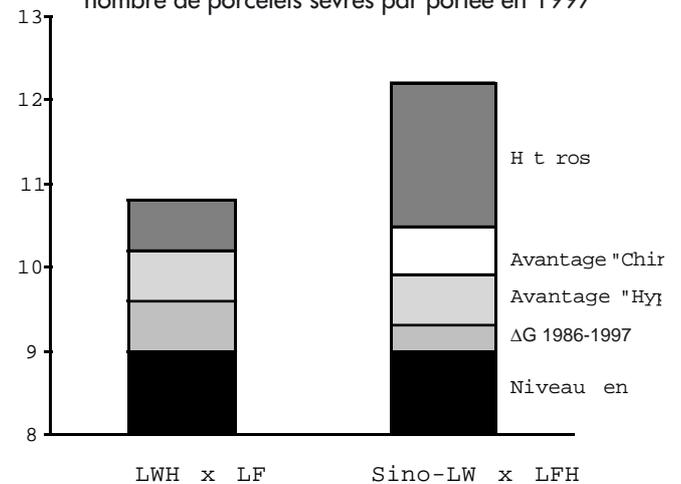
**Figure 1** - Évolutions génétiques estimées du nombre de porcelets nés totaux par portée en sélection



Piétrain chez lequel la prolificité n'intervient pas dans la sélection (Évaluation Nationale, INRA-ITP). Le progrès génétique réalisé en 10 ans (1987-1997) est respectivement de 1,96 et de 1,32 porcelets nés/portée dans les races LW et LF alors que la pente des courbes observée au cours des 3 dernières années est de 0,35 en LW et de 0,30 en LF.

Quant aux avantages de la lignée composite sino-européenne (LW x Meishan par exemple) utilisée au niveau grand-maternel, ils sont illustrés par la figure 2 pour la taille de la portée au sevrage. Lorsque le croisement se limite aux races européennes, les deux tiers du progrès proviennent de la sélection (voie hyperprolifique), le tiers restant étant apporté par l'effet d'hétérosis. En revanche, lorsque les gènes chinois interviennent, 53 % de l'amélioration provient de l'effet d'hétérosis, 28 % de la sélection dans les races européennes et 17 % de l'avantage initial des races chinoises sur leurs homologues européennes. Rappelons que cet hétérosis exceptionnel évoqué au paragraphe précédent est essentiellement d'origine maternelle et qu'il s'exprime notamment sur l'aptitude laitière et le comportement de la mère. Dans les situations les plus favorables discutées par LEGAULT (1998), la perspective de sevrer plus de 12 porcelets par portée devient vraisemblable.

**Figure 2** - Perspectives d'amélioration génétique du nombre de porcelets sevrés par portée en 1997



Source : Legault, 1998

Qu'en est-il de la production laitière des truies? Contrairement à certains avis alarmistes, de nombreux indices conduisent à conclure, que l'aptitude laitière des truies s'est améliorée significativement au cours des 3 dernières décennies.

La spécialisation des races ou des lignées a eu pour effet d'accentuer les différences originelles entre races. Ainsi, selon GRÜN et al. (1993), la production laitière journalière des truies Large White au cours de la 3ème semaine de lactation excède de 5 kg celles de leurs contemporaines de race Piétrain.

Le progrès génétique réalisé sur la taille de la portée à la naissance (TPN) induit automatiquement un progrès génétique sur le poids de la portée à 21 jours (PP21) en raison de la corrélation génétique associant ces 2 critères. On peut

estimer ce progrès par la relation:

$$\Delta G_{PP21} = R_G \frac{S_{APP21}}{S_{A\ TPN}} \Delta G_{TPN}$$

- $R_G = 0,45$  : corrélation génétique entre TPN et PP21  
 $S_{APP21} = 5,7$  kg : écart-type génétique additif de PP21  
 $S_{A\ TPN} = 1$  : écart-type génétique additif de TPN  
 $\Delta G_{TPN} = 0,35$  : porcelet/portée/an (cf. figure 1)

Dans ces conditions, le progrès génétique indirect réalisé sur le poids de la portée à 21 jours en race Large White est proche de 1 kg/an. Cela représente encore un progrès annuel de l'ordre de 3,7 kg de lait.

Le progrès induit sur l'aptitude laitière dans les races ou lignées pures est amplifié par l'effet d'hétérosis important entre races européennes (15 à 20 %) et très important lorsqu'intervient une race chinoise ou une lignée sino-européenne. Bien que cette vigueur hybride soit surtout d'origine maternelle, il ne faut pas négliger le rôle des effets directs, conséquence probable de la sélection en faveur de la croissance, qui expliquent en partie un gain de poids de l'ordre de 300 g à la naissance et de 1,5 kg à l'âge de 21 jours observé en race Large White au cours des 15 dernières années (LEGAULT et al., 1999).

La corrélation défavorable entre le poids individuel des porcelets et la taille de la portée est bien connue et imputée ordinairement à un simple effet de compétition pour une quantité limitée de nourriture. L'analyse de cette corrélation génétique dans une lignée spécialisée à haute prolificité a permis à ZHANG et al. (1999) d'attirer l'attention sur l'origine en grande partie maternelle de cette relation et sur la nécessité de prendre en compte à l'avenir la variabilité entre mères.

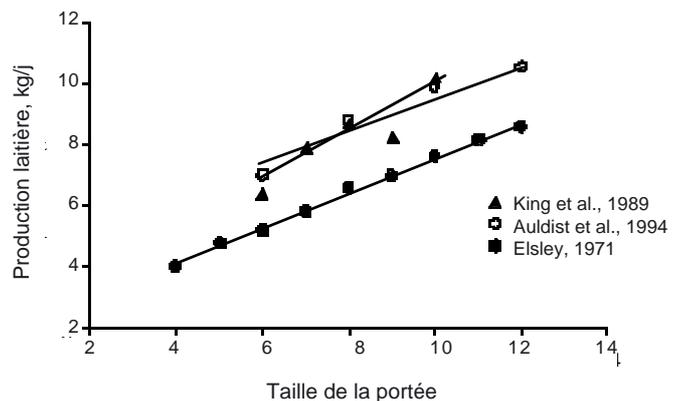
Bien qu'elle ne soit pas prise en compte directement dans le critère de sélection, l'aptitude génétique à la production laitière des truies parentales en France a donc progressé. Cette amélioration est en partie imputable à l'effet indirect de la sélection en faveur de la prolificité amplifié par la généralisation des croisements (effet d'hétérosis). Cependant, la poursuite de la "course à la productivité" des truies laisse entrevoir la nécessité à moyen terme de prendre en compte leur aptitude laitière dans l'objectif de sélection, par exemple en pesant leurs portées vers l'âge de 3 semaines.

### 2.1.2. Facteurs de variation liés à la truie

La production laitière moyenne des truies avait été estimée à 5,3 kg/j par SALMON-LEGAGNEUR (1958) à partir de 500 lactations d'une durée de 56 jours. On sait depuis longtemps que la taille de la portée est le principal facteur de variation de la sécrétion lactée chez la truie. Dans une synthèse bibliographique datant de 1971, ELSLEY montrait qu'elle augmentait linéairement avec le nombre de porcelets allaités: elle était doublée lorsque celui-ci passait de 4 à 12. Ceci s'explique principalement par l'augmentation du nombre de mamelles fonctionnelles. Le même type de relation a été mis en évidence plus récemment par KING et al.

(1989) et AULDIST et al. (1994). Lorsque l'on regroupe tous ces résultats dans un même graphique (figure 3), on constate que la pente de la régression est restée la même qu'autrefois, mais pour une taille de portée donnée, la production laitière a été améliorée d'environ 2 kg/jour entre les données anciennes et les plus récentes.

**Figure 3** - Effet de la taille de la portée sur la production laitière de la truie : évolution avec le temps (Auldust et King, 1995)



Ceci confirme l'amélioration de l'aptitude génétique à la production évoquée dans le paragraphe précédent. Elle résulte sans doute aussi de l'amélioration de l'environnement nutritionnel et sanitaire des truies. Les truies hyperprolifiques que l'on trouve actuellement de plus en plus souvent dans les élevages produisent donc en moyenne plus de 10-12 kg de lait par jour, soit près de deux fois plus qu'il y a 30 ans. Ceci montre l'importance accrue de l'alimentation et des réserves corporelles chez les truies modernes.

Cependant, la production laitière augmente moins rapidement que la taille de la portée, et la quantité de lait consommé par porcelet diminue lorsque leur effectif augmente. Ainsi, cette quantité décroît de 1,0 à 0,7 kg/jour quand la taille de la portée passe de 4 à 12 (ELSLEY, 1971), ou de 1,3 à 0,9 kg/j entre 6 et 14 porcelets d'après les travaux plus récents.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène: une plus grande sollicitation de la mamelle par des porcelets plus vigoureux dans le cas des petites portées, moins de luttes entre les porcelets de la portée entraînant moins de tétées infructueuses, la possibilité pour les porcelets de téter plus d'une mamelle, enfin l'augmentation limitée de la consommation d'aliment par les truies lorsqu'elles allaitent davantage de porcelets. Il n'en demeure pas moins que contrairement à une idée largement répandue, la quantité de lait ingérée en moyenne par porcelet s'est accrue au cours des dernières décennies en dépit de l'augmentation de la taille de la portée, et c'est bien ce que traduit l'amélioration concomitante du poids des porcelets au sevrage qui reflète leur consommation de lait (NOBLET et ÉTIENNE, 1989).

La production laitière varie également au cours de la carrière de la truie. Bien que les études systématiques dans ce domaine soient rares à cause des difficultés méthodolo-

giques, il a été généralement montré que les truies primipares produisaient moins de lait que les femelles plus âgées. D'après SALMON-LEGAGNEUR (1958), la sécrétion lactée reste ensuite stable entre la 2<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> portée, puis diminue. Ces variations s'expliquent en partie par l'évolution de la taille de la portée au cours de la carrière des truies.

Enfin, la production laitière évolue pendant la lactation. D'après de nombreux auteurs, elle est en moyenne la plus faible pendant la 1<sup>ère</sup> semaine, augmente jusqu'à la 3<sup>ème</sup>, reste stable jusqu'à la 6<sup>ème</sup>, et diminue ensuite. SALMON-LEGAGNEUR (1958) a décrit différentes courbes de lactation dont la forme dépend du moment où le maximum est atteint. Les résultats plus récents indiquent cependant que c'est généralement au cours de la 3<sup>ème</sup> semaine que la production atteint son maximum (KLAVER et al., 1981; NOBLET et ÉTIENNE, 1986).

### 2.1.3. Facteurs de variation liés aux porcelets

#### • Le poids de naissance

On a souvent montré que les porcelets les plus lourds à la naissance consomment davantage de lait que les autres. Tous les auteurs s'accordent avec HEMSWORTH et al. (1976) pour conclure qu'ils sont plus efficaces pour vider la mamelle, ce qui stimule sa production ultérieure, ou que le poids plus élevé influencerait l'aptitude du porcelet à maintenir une production élevée de la mamelle. Ces effets ont été mis en évidence par VAN DER STEEN et DE GROOT (1992) dans une expérience où la moitié de chaque portée était échangée entre des truies Meishan et Landrace. Les porcelets Landrace, plus lourds à la naissance que les Meishan, consommaient 37 % de lait de plus (tableau 2). Les porcelets Meishan les plus lourds, dont le poids à la naissance était similaire à celui des Landrace les plus légers, avaient également la même vitesse de croissance. Les différences entre truies étaient faibles. La croissance plus lente des porcelets Meishan n'est donc pas due à la compétition avec les porcelets Landrace plus lourds, mais à leur poids de naissance. Plus récemment, KING et al. (1997) ont montré que des truies adoptant après la parturition des porcelets âgés de 17 à 29 jours produisaient dans les jours suivants 26 % de lait de plus que celles qui recevaient des porcelets nouveau-nés. Inversement, des truies à 17 jours de lactation adoptant des porcelets nouveau-nés produisaient 22 % de lait de moins

que les autres pendant les 4 jours suivants. Le poids du porcelet est donc bien un facteur de variation important de la production laitière des truies.

Plusieurs explications à ce phénomène ont été avancées. On admet généralement que les porcelets nouveau-nés se disputent les tétines antérieures, qui produisent plus de lait que les autres, et que ce sont les plus lourds qui les obtiennent. En réalité, d'après FRASER (1984), les corrélations entre le poids de naissance et la position des mamelles obtenues est faible, même s'il est clair que les porcelets préfèrent les tétines antérieures. Par ailleurs, ALGERS et JENSEN (1991) ont montré que, tout au moins au début de la lactation, la durée du massage de la mamelle par les porcelets après la tétée influence la quantité de lait qu'elle produit à la tétée suivante, peut être en modulant le flux sanguin dans cette mamelle. Ils suggèrent qu'en stimulant davantage leur tétine, les porcelets les plus lourds induiraient une production laitière plus importante.

#### • L'intervalle entre les tétées

D'après quelques études récentes, la production laitière des truies est influencée par l'intervalle séparant les tétées. AUL-DIST et al. (1995) ont comparé 3 traitements entre 6 et 27 jours de lactation: des truies allaitant des portées de 12 ou de 6 porcelets en moyenne toutes les 46 mn, et des truies dont seules 6 tétines étaient accessibles allaitant 2 portées de 6 porcelets alternativement toutes les 30 mn (tableau 3). La croissance totale des portées de 12 était plus élevée que celle des portées de 6, et intermédiaire lorsque les truies allaitaient 2 portées de 6. La production laitière par glande fonctionnelle était près de deux fois plus élevée dans ce dernier traitement, ce qui suggère une vitesse de synthèse du lait supérieure lorsque l'intervalle entre tétées est réduit. SPINKA et al. (1997) parviennent au même résultat en forçant des truies à allaiter leurs porcelets toutes les 35 mn ou toutes les 70 mn pendant 24 h. Bien qu'il y ait davantage de tétées ratées, les porcelets du premier groupe consomment 27 % de lait de plus que les autres, et leur gain de poids est supérieur de 44 %. SPINKA et al. (1997) ont également noté que la quantité de lait produit par tétée était similaire pour des intervalles entre tétées de 35, 50, 70 ou 100 mn. Le lait obtenu par le porcelet au cours d'une tétée serait donc disponible dès 35 mn après la tétée précédente, et les porcelets tétant plus fréquemment obtiendraient cette dose de lait plus souvent, consommeraient plus de lait, et la production laitière

**Tableau 2** - Effet du poids à la naissance sur le gain de poids et la quantité de lait consommée (adapté de Van der Steen et De Groot, 1992)

Race de la mère	Landrace hollandais		Meishan	
	LRH	Meishan	LRH	Meishan
<b>Race des porcelets allaités</b>				
<b>Poids à la naissance, kg</b>	1,38	0,89	1,38	0,89
<b>Gain de poids, g/j (0-35j)</b>	221	164	208	173
<b>Lait consommé J13 (g/h/porcelet)</b>	36	23	36	29
<b>Lait consommé J30 (g/h/porcelet)</b>	41	28	35	28

**Tableau 3** - Effet d'une augmentation de la fréquence des tétées sur la production laitière de la truie (Auldist et al., 1995)

Comparaison (taille de la portée)	6	12	6 + 6
Gain de poids de la portée (g/jour)	1732	2571	2195
Poids moyen de la glande, g MS	110,5	64,9	124,0
Intervalle de tétée (minutes)	46,3	47,4	38,6

**Tableau 4** - Effet de la température ambiante et du niveau d'alimentation sur les performances de lactation chez la truie (Messias de Bragança et al., 1997)

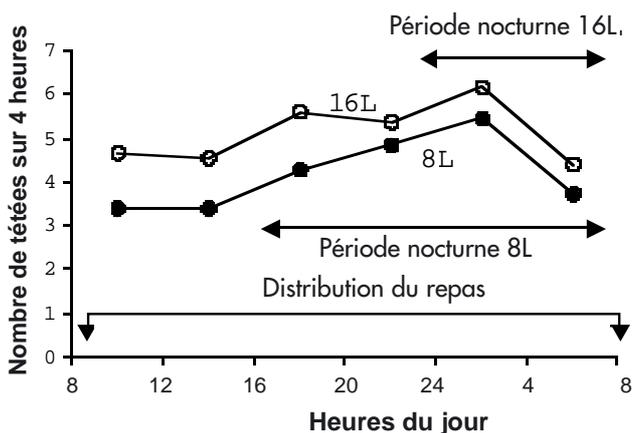
Température, °C	20	20	30
Niveau alimentaire	Ad libitum	Restreint	Ad libitum
Aliment ingéré, kg/j	4,9	3,1	2,8
Perte de poids, kg	8,3	31,5	21,7
Perte de lard, mm	0,9	3,5	2,8
Taille de la portée (sevrage)	8,5	8,3	8,2
Poids moyen (sevrage), kg	6,44	6,29	5,80
Gain de poids de la portée, kg/j	2,05	1,97	1,62

re de la truie serait donc plus élevée. Mais on ne sait pas dans quelle mesure les porcelets sont capables de modifier leur comportement à la mamelle et d'adapter leur consommation à leurs besoins. Des observations récentes de NOBLET (non publié) sur plusieurs portées montrent un intervalle moyen entre les tétées très inférieur à 1 heure (40-50 mn); ceci contribuerait donc à expliquer l'augmentation de la production laitière constatée au cours des dernières années.

#### 2.1.4. Facteurs de variation liés au milieu ambiant

La production laitière des truies est affectée par les conditions de milieu. Des truies soumises à 16 h d'éclairage par 24 h au lieu de 8 entre 103 jours de gestation et 21 jours de lactation produisent davantage de lait (MABRY et al., 1983). Cet effet s'explique par la fréquence plus élevée des tétées dans ces conditions (figure 4).

**Figure 4** - Effet de la durée de la photopériode sur la fréquence de la tétée chez le porcelet (16L/8L : 16 heures/8Heures de lumière respectivement) (Mabry et al., 1983)



Le bruit peut également exercer une influence. L'audition d'enregistrements reproduisant les grognements émis pendant les tétées peut raccourcir l'intervalle entre tétées et augmenter la production laitière (STONE et al., 1974). Inversement, des bruits de niveau élevé (85 dB) émis en continu, tel celui d'un ventilateur, perturbent le rythme normal des tétées et augmentent la fréquence des bagarres entre les porcelets (ALGERS et JENSEN, 1985). Les porcelets exposés au bruit massent les mamelles moins longtemps, et consomment moins de lait à chaque tétée que des porcelets soumis à un niveau de bruit moins élevé (45 dB). Le bruit empêcherait les porcelets d'entendre la séquence des grognements émis pendant l'allaitement, ce qui influencerait leur comportement pendant la tétée.

Plusieurs expériences permettent de conclure à un effet défavorable d'une température ambiante élevée (~ 30°C vs ~ 20°C) sur la croissance des porcelets, et donc sur leur consommation de lait. De plus, cet effet de la température ambiante sur la production de lait n'est pas linéaire: la décroissance (g/°C) est faible jusqu'à environ 25°C et très élevée au-dessus de 25-27°C (QUINIOU et NOBLET, 1999). Mais on peut se demander si cet effet n'est pas dû indirectement à la réduction de la consommation d'aliment des truies et à la mobilisation plus importante de leurs réserves corporelles qui interviennent à ces températures élevées. MESSIAS DE BRAGANÇA et al. (1997) ont montré qu'il n'en était rien chez les truies maintenues à 20° et rationnées de façon à consommer la même quantité d'aliment que celle qui était ingérée spontanément par des truies à 30°. La croissance de leurs portées était plus élevée que chez les truies à 30°, et similaire à celle des portées allaitées par des truies à 20° nourries à volonté (tableau 4).

BLACK et al. (1993) suggèrent que cet effet pourrait être dû à une redistribution des flux sanguins au détriment de la mamelle, davantage de sang allant vers la peau afin d'accroître les pertes de chaleur en cas de température élevée.

**Tableau 5** - Composition en acides aminés du lait de truie (g/16 g N)

	<b>Dourmad et al., 1991</b> moyenne écart-type		<b>Elliot et al.</b> <b>1971</b>	<b>Duée et Jung</b> <b>1973</b>	<b>Helms et al.</b> <b>1978</b>
<b>Lysine</b>	7,39	0,33	7,30	7,75	7,57
<b>Méthionine</b>	2,00	0,14	1,80	2,10	2,16
<b>Cystine</b>	1,66	0,16	1,37	1,80	1,65
<b>Tryptophane</b>	1,10	-	1,37	-	-
<b>Thréonine</b>	4,34	0,28	4,83	4,30	4,45
<b>Leucine</b>	8,69	0,47	8,87	8,90	8,53
<b>Isoleucine</b>	4,26	0,29	3,87	4,25	3,75
<b>Valine</b>	5,10	0,39	4,73	6,20	4,91
<b>Histidine</b>	3,91	0,32	3,53	2,70	2,85
<b>Arginine</b>	5,47	0,28	4,90	5,00	4,73
<b>Phénylalanine</b>	4,19	0,23	4,03	4,15	3,87
<b>Tyrosine</b>	4,11	0,41	5,00	4,15	4,14
<b>Somme AAI</b>	52,2	-	51,6	52,5	49,8
<b>Glycine</b>	3,62	0,17	3,37	3,45	3,57
<b>Alanine</b>	3,91	0,20	3,90	3,85	4,05
<b>Sérine</b>	5,69	0,38	5,43	5,50	5,77
<b>Ac. aspartique</b>	8,57	0,31	7,70	8,55	-
<b>Ac. glutamique</b>	20,41	1,21	20,07	21,25	-
<b>Proline</b>	12,32	0,25	12,27	12,20	12,79

Une diminution des taux circulants de certaines hormones impliquées dans la production de chaleur (MESSIAS DE BRANGANÇA et al., 1997) et des altérations de certaines fonctions endocrines (BARB et al., 1991) ont été observées chez des truies maintenues à 30°. La baisse de production laitière des truies soumises à un stress thermique ne serait donc pas due à l'altération du comportement des porcelets, mais à des modifications physiologiques et métaboliques profondes des truies.

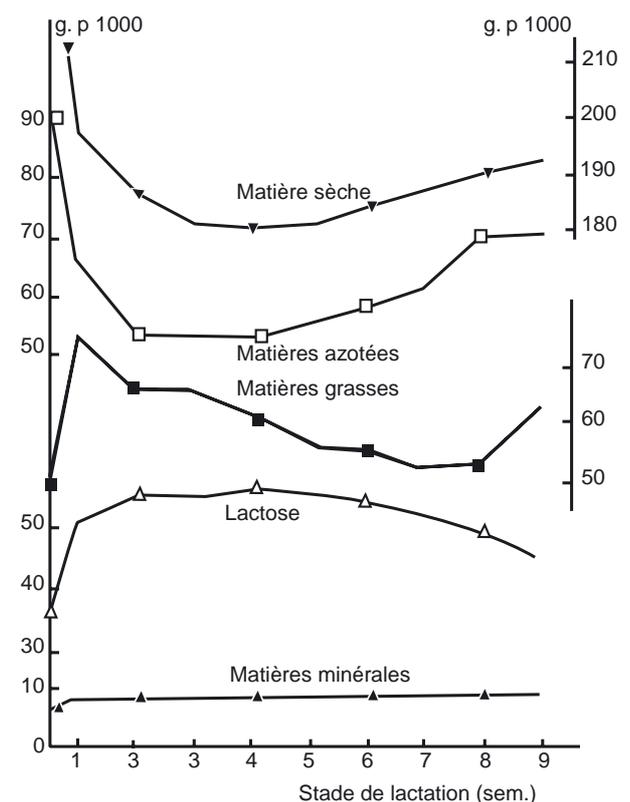
## 2.2. Composition du lait

Le lait de truie est beaucoup plus riche en matières azotées et en lipides que celui de la plupart des ruminants, de la jument et de la femme, et proche du lait de brebis. Sa teneur en matière sèche est plus élevée d'environ 50 % que le lait de vache, ce qui explique en grande partie les différences des teneurs en nutriments et en énergie.

NOBLET et ÉTIENNE (1986) ont déterminé la composition de lait de truies à 5 stades de lactation entre 1 et 21 jours. Elle était en moyenne de 17,80 % de matière sèche, 4,71 % de protéines (N x 6,38), 6,87 % de lipides, 5,49 % de lactose et 0,74 % de minéraux, et sa teneur en énergie de 1142 kcal/kg. Cette composition évolue avec l'avancement de la lactation (figure 5). Les taux de protéines et de lipides et la teneur en énergie du lait varient de façon opposée à la production laitière, avec un maximum en début de lactation suivi d'une décroissance continue jusqu'au sevrage. Au contraire, le taux de lactose varie parallèlement à la production laitière avec un maximum vers 3 semaines.

La fraction azotée du lait de truie est plus riche en globulines (10 à 17 % du total), et plus pauvre en caséine (55 %) et en b-lactoglobuline (2 %) que celle du lait de vache (DUÉE et SÈVE, 1978). Il existe relativement peu de déterminations de la composition en acides aminés des protéines du lait de truie, mais les résultats sont assez concordants (tableau 5).

Il est bien pourvu en acides aminés indispensables (notamment en lysine), mais relativement pauvre en acides aminés soufrés, surtout en méthionine (DUÉE et JUNG 1973). Comparativement aux ruminants, les lipides du lait de truie contiennent moins d'acides gras à chaîne courte et moyenne, et plus d'acides gras à longue chaîne, notamment insaturés (C16:1, C18:1, C18:2).

**Figure 5** - Évolution de la composition du lait de truie pendant la lactation (Salmon-Legagneur, 1965)

**Tableau 6** - Effets des apports de lysine dans le régime de lactation (1)

Lysine %	0,25	0,35	0,48	0,66	0,91
Production laitière, kg/j	6,18	6,25	7,47	7,07	6,86
Matière sèche du lait, %	14,69	16,08	16,39	16,66	16,64
Protéines du lait, %	4,24	4,36	4,84	4,79	4,53
Gain de portée 7-21 j, kg	2,06	2,06	2,59	2,59	2,37

(1) Moyenne des mesures réalisées à 2 et à 3 semaines de lactation.

(Lewis et Speer, 1973)

### 2.3. Effets de la nutrition sur la production et la composition du lait chez la truie

Au cours des 20 dernières années, les besoins énergétiques et azotés des truies en lactation ont donné lieu à d'importants travaux dont les résultats ont été synthétisés récemment (NOBLET et al., 1998; KING, 1998).

#### 2.3.1. Nutrition azotée

La nutrition azotée des truies pendant la gestation peut affecter la croissance des porcelets, et donc la production laitière, pendant la lactation suivante. Mais cet effet ne se manifeste généralement que dans des conditions extrêmes (régimes protéoprives (POND et al., 1968; DE GEETER et al., 1972; HAMMELL et al., 1976) ou composés presque exclusivement de céréales (BAKER et al., 1970; HAWTON et MEADE, 1971)). C'est la production laitière de la truie qui est en cause, et non le moindre état de développement des nouveau-nés. Une diminution de la teneur en protéines du lait a d'ailleurs été démontrée dans ces conditions par HOLDEN et al. (1968).

En général, de faibles apports azotés aux truies pendant la lactation provoquent une réduction de la vitesse de croissance des porcelets (MAHAN et al., 1971; MAHAN et GRIFO, 1975; GREENHALGH et al., 1977). Des controverses existent entre les auteurs sur les apports optimaux de protéines permettant de maximiser ces critères. Il semble cependant qu'au-delà de 800 g de protéines/jour, on obtienne rarement une amélioration des performances. Des résultats similaires ont également été obtenus dans le cas d'apports faibles d'acides aminés indispensables aux truies pendant la lactation (travaux des équipes de SPEER et de LEWIS aux USA). En ce qui concerne la lysine, qui est l'acide aminé limitant primaire des régimes de lactation, il semble que la production et la composition du lait de la truie et la croissance de sa portée ne puissent être maintenues que si la carence n'est pas trop forte, le taux de lysine étant d'au moins 0,48 % dans le régime (tableau 6). Mais ceci est valable dans les conditions de faible productivité de cette étude, et il est vraisemblable que dans les conditions actuelles, ce seuil serait plus élevé. Pour des niveaux de productivité plus importants, on n'observe cependant aucun effet sur la croissance de la portée, la production laitière et la composition du lait lorsque la teneur en lysine du régime décroît de 0,90 et 0,60 % (DOURMAD et al., 1998). La fonction de lactation est préservée au détriment des tissus maternels: lorsque les apports de lysine diminuent, le bilan azoté des truies devient de plus en plus négatif, et leur fonte musculaire va en s'amplifiant. Comme pour l'énergie, il semble donc qu'au moins jusqu'à

une valeur seuil, la production laitière de la truie n'est pas affectée tant que la truie est capable de compenser la carence des apports alimentaires en puisant sur ses réserves corporelles, musculaires en particulier.

#### 2.3.2. Nutrition énergétique

La réduction des apports énergétiques à la truie allaitante n'affecte pas de façon marquée sa production laitière, et par voie de conséquence la croissance de la portée. Ainsi, à partir d'un ensemble de données bibliographiques portant sur des lactations de 42 jours, HENRY et ÉTIENNE (1978) constatent une réduction de seulement 110 g du poids des porcelets au sevrage à la suite de l'abaissement de 1 Mcal /j de la quantité d'énergie digestible apportée en lactation. Les données de NELSEN et al. (1985) et de NOBLET et ÉTIENNE(1986) vont dans le même sens. En fait, les effets du niveau énergétique de lactation sur la production laitière de la truie dépendent de l'état des réserves corporelles au début de la lactation. Ainsi, chez les truies primipares, les réserves énergétiques sont généralement suffisantes et la production laitière n'est pas affectée. A l'inverse, des truies soumises pendant trois lactations successives à des apports énergétiques faibles et disposant à la fin de l'expérience de réserves corporelles peu importantes ont une production laitière plus faible que les truies alimentées de façon libérale en lactation (O'GRADY et al., 1973; tableau 7). La truie compense donc une restriction énergétique ou un niveau d'alimentation à volonté faible par une accentuation de la mobilisation de ses réserves corporelles, et ce n'est que lorsque celles-ci deviennent insuffisantes que la production laitière est affectée. On peut penser que les apports d'énergie pendant la gestation interviennent également sur les performances des truies au cours de la lactation suivante en modulant l'état des réserves corporelles à la parturition. Cependant, lorsque la réduction de la consommation d'énergie résulte d'une augmentation de la température ambiante, on observe une diminution de la production laitière, mais qui est liée, comme on l'a montré plus haut, à un effet direct de la température.

**Tableau 7** - Effet des apports d'énergie en lactation sur la production laitière (kg/jour) pendant trois cycles de reproduction (O'Grady et al., 1973)

Numéro de portée	Apport d'énergie			
	Bas	Moyen	Élevé	Très élevé
1 <sup>re</sup> portée	6,5	6,4	6,0	6,3
2 <sup>ème</sup> portée	5,9	6,6	7,0	7,1
3 <sup>ème</sup> portée	6,0	7,9	8,1	8,7

**Tableau 8** - Effets d'une supplémentation en graisses du régime des truies sur la teneur en lipides du colostrum et du lait (%) (Dourmad, 1987)

Effets sur le	Période de supplémentation	Nombre d'études	Régime		
			Témoïn	Supplémenté	Différence
<b>Colostrum</b>	Gestation	10	6,0	7,7	+ 1,7
	Gestation + lactation	3	5,9	7,7	+ 1,8
	Lactation	3	6,5	6,9	-
<b>Lait</b>	Gestation	2	7,8	8,0	-
	Gestation + lactation	10	7,3	9,0	+ 1,8
	Lactation	4	7,2	9,1	+ 1,9

### 2.3.3. Nutrition et composition du lait

Bien qu'il y ait très peu de travaux dans ce domaine, la composition en acides aminés de la fraction azotée du lait de truie semble relativement constante. La comparaison des données du tableau 5, obtenues à des époques, en des contrées et sur des animaux de races différentes, soumis à des conditions d'alimentation diverses, ne révèle en effet aucun écart notable.

Il en va différemment de la fraction lipidique du lait dont le taux et la composition en acides gras dépendent de la nutrition énergétique de la truie. Une expérience déjà ancienne de SALMON-LEGAGNEUR (1964) comportant notamment l'addition d'huile de maïs, riche en acide linoléique non synthétisé par l'animal, au régime de gestation ou de lactation, révèle que la composition en acides gras du lait de truie dépend de celle des lipides de l'aliment ou des graisses de réserve. Cette étude démontre que les réserves lipidiques des truies sont utilisées pour la synthèse lactée, et que les acides gras sont susceptibles d'être incorporés directement dans les lipides du lait. Ce résultat a été confirmé récemment par GERFAULT et al. (1999) ou dans des travaux visant à améliorer la survie post-natale des porcelets grâce à la supplémentation en lipides du régime des mères (tableau 8). Sur 14 expériences réalisées, la teneur en lipides du lait de truies recevant un régime enrichi en graisses est de 9 %, contre 7,3 % chez les témoins (DOURMAD, 1987). Mais il ne semble pas y avoir d'effet sur la production laitière. Dans une revue bibliographique, MOSER (1983) montre qu'au sevrage, le poids des porcelets allaités par les truies supplémentées est accru de 100 g seulement, ce qui suggère bien des effets très limités sur la production laitière.

Une réduction sévère du niveau des apports d'énergie provoque une augmentation des teneurs en matière sèche, en matières grasses et en énergie du lait (NOBLET et ÉTIENNE, 1986). Elles passent respectivement de 17,80 %, 6,87 % et 1142 kcal/kg à 19,08 %, 8,01 % et 1272 kcal/kg lorsque les apports quotidiens d'énergie dans l'aliment diminuent de 14,2 à 10,4 Mcal ED/jour. En cas de rationnement énergé-

tique, la truie fait appel à ses réserves énergétiques, lipidiques en particulier, et les acides gras ainsi mobilisés sont incorporés directement dans les lipides du lait. Ceci est confirmé par les études sur le métabolisme de la mamelle (DOURMAD et al., 2000) qui montrent une utilisation privilégiée, par la glande mammaire, des nutriments lipidiques en provenance des réserves corporelles, lorsque l'apport alimentaires est insuffisant.

## CONCLUSION

La détermination de la production et de la composition du lait de truie présente un certain nombre de difficultés méthodologiques. Il existe cependant de nombreuses données permettant de caractériser ces paramètres. Par rapport aux travaux réalisés il y a une vingtaine d'années, il apparaît que si la composition du lait des truies n'a pas évolué, leur aptitude génétique et leur niveau de production laitière se sont considérablement améliorés. Ainsi, on est passé à des productions moyennes de l'ordre de 7,5 kg de lait par jour (NOBLET et ÉTIENNE, 1986; ÉTIENNE et al., 1989) pour des portées de 9 à 10 porcelets, alors qu'elles étaient de 5,3 kg à l'époque des mesures réalisées par SALMON-LEGAGNEUR (1965). Ce niveau est même souvent supérieur à 10 kg/jour dans certains élevages si l'on en juge par la vitesse de croissance élevée des porcelets et la taille accrue des portées. Cet écart s'explique en partie par le raccourcissement de la durée de lactation, mais aussi par la généralisation des croisements, par la sélection des truies sur la prolificité et sur la vitesse de croissance et l'amélioration de leur alimentation. Une telle évolution a des conséquences majeures: les besoins nutritionnels des truies allaitantes ont considérablement augmenté, et le rôle des réserves corporelles s'est développé alors que paradoxalement, l'état d'adiposité des femelles à la mise à la reproduction a diminué pendant les 30 dernières années. Ceci contribue à expliquer la fréquence accrue de problèmes de reproduction tels le délai excessif, voire l'absence de retour en oestrus, qui sont rencontrés dans les élevages après le sevrage des truies, notamment chez les primipares.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALGERS B., JENSEN P., 1985. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 14, 49-61.
- ALGERS B., JENSEN P., 1991. *Can J. Anim. Sci.*, 71, 51-60.
- AULDIST D.E., MORRISH L., THOMPSON M., KING R.H., 1994. *Proc Nutr. Soc. Aust.*, 18, 175.
- AULDIST D.E., MORRISH L., WAKEFORD C., KING R.H., 1995. In *Manipulating pig production V*, Hennessy D.P., Cranbarb P.D. Ed., 137. Australasian Pig Science Ass., Werribee, Australie.
- BAKER D.H., BECKER D.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1970. *J. Anim. Sci.*, 30, 364-367.
- BARB C.R., ESTIENNE M.J., KRAELING R.R. et al 1991. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 8, 117-127.
- BIDANEL J.P., CARITEZ J.C., LEGAULT C., 1989. *Journées Rech. Porcine en France*, 21, 345-352.
- BIDANEL J.P., DUCOS A., 1994. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 321-326.
- BIDANEL J.P., DUCOS A., 1995. *Journées Rech. Porcine en France*, 27, 143-148.
- BIDANEL J.P., 1999. Données non publiées.
- BLACK J.L., MULLAN B.P., LORSCHY M.L., GILES L.R., 1993. *Livest. Prod. Sci.*, 35, 153-170.
- DE GEETER M.J., HAYS V.W., KRATZER D.D., CROMWELL G.L., 1972. *J. Anim. Sci.*, 35, 772-777.
- DOURMAD J.Y., 1987. *La revue de l'alimentation animale*, 405, 39-44.
- DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., NOBLET J., 1991. *Journées Rech. Porcine en France*, 23, 61-68.
- DOURMAD J.Y., NOBLET J., ÉTIENNE M., 1998. *J. Anim. Sci.*, 76, 542-550.
- DOURMAD J.Y., MATTE J.J., LEBRETON Y., FONTIN M.L., 2000. *Journées Rech. Porcine en France*, 32, 265-273.
- DUÉE P.H., JUNG J., 1973. *Ann. Zootech.*, 22, 243-248.
- DUÉE P.H., SÈVE B., 1978. *Journées Rech. Porcine en France*, 10, 167-207.
- ELLIOTT R.F., WANDER NOOT G.W., GILBREATH R.L., FISCHER H., 1971. *J. Anim. Sci.*, 32, 1128-1135.
- ELSLEY F.W.H., 1971. In FALCONER I.R. Ed., Butterworths Publ., London, UK, 393-411.
- ÉTIENNE M., NOBLET J., DOURMAD J.Y., FORTUNE H., 1989. *Journ. Rech. Porcine en France*, 21, 101-108.
- ÉTIENNE M., DOURMAD J.Y., NOBLET J., 1998. In: *The lactating sow*, VERSTEGEN M.W.A., MOUGHAN P.J., SCHRAMA J.W. Ed., Wageningen Pers, 285-299.
- FRASER D., 1984. *Appl. Anim. Ethol.*, 11, 317-339.
- GERFAULT V., MOUROT J., ÉTIENNE M., MOUNIER A., 1999. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 191-197.
- GREENHALGH J.F.D., ELSLEY F.W.H., GRUBB D.A. et al, 1977. *Anim. Prod.*, 24, 307-321.
- GRÜN D., REINER G., DZAPO V., 1993. *Reprod. Dom. Anim.*, 28, 14-21.
- HAMMELL D.L., KRATZER D.D., CROMWELL G.L., HAYS V.W., 1976. *J. Anim. Sci.*, 43, 589-597.
- HAWTON J.D., MEADE R.H., 1971. *J. Anim. Sci.*, 32, 88-95.
- HELMS W., MOHME H., 1978. *Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkunde*, 38, 131-137.
- HEMSWORTH P.H., WINFIELD C.G., MULLANEY P.D., 1976. *Anim. Prod.*, 22, 351-357.
- HENRY Y., ÉTIENNE M., 1978. *Journées Rech. Porcine en France*, 10, 119-165.
- HOLDEN P.J., LUCAS E.W., SPEER V.C., HAYS V.W., 1968. *J. Anim. Sci.*, 27, 1587-1590.
- KING R.H., TONER M.S., DOVE H., 1989. In : *Manipulating pig production II*, 98, Barnett J.L., Hennessy P. Ed. Australasian Pig Science Association, Werribee, Australia.
- KING R.H., MULLAN B.P., DUNSHEA F.R., DOVE H., 1997. *Livest. Prod. Sci.*, 47, 169-174.
- KING R.H., 1998. In: *The lactating sow*, VERSTEGEN M.W.A., MOUGHAN P.J., SCHRAMA J.W. Ed., Wageningen Pers, 131-141.
- KLAVER J., van KEMPEN G.J.M., de LANGE P.G.B., VERSTEGEN M.W.A., BOER H., 1981. *J. Anim. Sci.*, 52, 1091-1097.
- LEGAULT C., 1970. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 2, 209-227.
- LEGAULT C., 1971. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 3, 153-160.
- LEGAULT C., MOLÉNAT M., STEIER B., TEXIER C., ZICKLER G., 1971. *Journées Rech. Porcine en France*. Paris, 3, 11-17.
- LEGAULT C., GRUAND J., 1976. *Journées Rech. Porcine en France*, 8, 201-206.
- LEGAULT C., 1998. *INRA Prod. Anim.*, 11, 214-218.
- LEGAULT C., CARITEZ J.C., LAGANT H., 1999. Données non publiées.
- LE ROY P., LEGAULT C., GRUAND J., OLLIVIER L., 1987. *Génét. Sél. Evol.*, 19, 351-364.
- LEWIS A.J., SPEER V.C., 1973. *J. Anim. Sci.*, 37, 104-110.
- LEWIS A.J., SPEER V.C., HAUGHT D.G., 1978. *J. Anim. Sci.*, 47, 634-638
- LIGONESCHE, B. BAZIN C., BIDANEL J.P., 1995. *Journées Rech. Porcine en France*, 27, 121-126.
- MABRY J.W., COFFEY M.T., SEERLEY R.W., 1983. *J. Anim. Sci.*, 57, 918-921.
- MAHAN D.C., BECKER D.E., JENSEN A.H., 1971. *J. Anim. Sci.*, 32, 470-475.
- MAHAN D.C., GRIFO A.P., 1975. *J. Anim. Sci.*, 41, 1362-1367.
- MAIGNEL L., GUÉBLEZ R., BIDANEL J.P., 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 101-107.
- MESSIAS de BRAGANÇA M., MOUNIER A.M., HULIN J.C., PRUNIER A., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 81-88.
- MOSER B.D., 1983. In : *Recent advances in animal nutrition*, W. Haresign Ed., Butterworths, London, UK, 71-80.
- NELSSSEN J.L., LEWIS A.J., PEO E.R. Jr., MOSER B.D., 1985. *J. Anim. Sci.*, 60, 171-178.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1986. *J. Anim. Sci.*, 63, 1888-1896.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1989. *J. Anim. Sci.*, 67, 3352-3359.
- NOBLET J., DOURMAD J.Y., ÉTIENNE M., 1990. *J. Anim. Sci.*, 68, 562-572.

- NOBLET J., ÉTIENNE M., DOURMAD, J.Y., 1998. In: The lactating sow, VERSTEGEN M.W.A., MOUGHAN P.J., SCHRAMA J.W. Ed., Wageningen Pers, 113-130.
- O'GRADY J.F., ELSLEY F.W.H., MacPHERSON R.M., McDONALD I., 1973. *Anim. Prod.*, 17, 65-74.
- PETIT G., RUNAVOT J.P., GRUAND J., LEGAULT C., 1988. *Journées Rech. Porcine en France*, 20, 309-314.
- PETTIGREW J.E., SOWER A.F., CORNELIUS S.G., MOSER R.L., 1985. *Can. J. Anim. Sci.*, 65, 989-992.
- POND W.G., WAGNER W.C., DUNN J.A., WALKER E.F. Jr., 1968. *J. Nutr.*, 94, 309-316.
- QUINIOU N., NOBLET J., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77, 2124-2134.
- ROTHSCHILD M.F., BIDANEL J.P., 1998. In: The genetics of the pig, ROTHSCHILD M.F., RUVINSKY A. Ed, CAB International, 313-343.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1958. *Ann. Zootech.*, 7, 145-162.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1964. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 4, 141-155.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1965. *Ann. Zoot.*, 14 (HS 1), 1-137.
- SALMON-LEGAGNEUR E., LEGAULT C., AUMAÎTRE A., 1966. *Ann. Zootech.*, 15, 215-229.
- SCHOENHERR W.D., STAHLY T.S., CROMWELL G.L., 1989. *J. Anim. Sci.*, 67, 473-481.
- SELLIER P., 1976. *Livest. Prod. Sci.*, 3, 203-226.
- SPEER V.C., COX D.F., 1984. *J. Anim. Sci.*, 59, 1281-1285.
- SPINKA M., ILLMANN G., ALGERS B., STETKOVA Z., 1997. *J. Anim. Sci.*, 75, 1223-1228.
- STONE C.C., BROWN M.S., WARING G.H., 1974. *J. Anim. Sci.*, 39, 137 (Abstr.).
- TRIBOUT T., BIDANEL J.P., GARREAU H. et al, 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 95-100.
- VAN DER STEEN H.A.M., De GROOT P.N., 1992. *Livest. Prod. Sci.*, 30, 363-373.
- VAN SPAENDONCK R.A.F., 1972. M.S. Thesis, Gent Univ., Belgium, pp 150.
- YORK D.L., ROBISON O.W., 1985. *J. Anim. Sci.*, 61, 825-833.
- ZHANG S., BIDANEL J.P., BURLOT T., NAVEAU J., LEGAULT C., 1999. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 159-165.