

A 9702

# COMPOSITION DU GAIN DE POIDS DE LA TRUIE GESTANTE : PREVISION EN FONCTION DES APPORTS ENERGETIQUES ET PROTEIQUES

J. Y. DOURMAD

I.N.R.A. - Station de Recherches Porcines, St-Gilles 35590 L'HERMITAGE.

## INTRODUCTION

Il est généralement admis que l'alimentation de la truie en gestation influence peu les performances de reproduction à court terme (HENRY et ETIENNE, 1978). Par contre, les variations pondérales au cours des diverses phases du cycle de reproduction sont affectées par les apports de protéines (DUEE et SEVE, 1978), les apports énergétiques (HENRY et ETIENNE, 1978) et par le milieu d'élevage. Or, dans des situations nutritionnelles extrêmes, des relations entre l'état des réserves corporelles et les performances de reproduction à long terme ont été mises en évidence (Mac LEAN, 1969 ; REESE *et al.*, 1984). Il est donc important de connaître la nature et l'importance des réserves corporelles à chaque stade de la carrière de la truie. Pendant la lactation, du fait de la capacité d'ingestion limitée des animaux et de l'ampleur de leurs besoins, il est difficile de contrôler l'état des réserves. La gestation constitue donc la seule période durant laquelle on peut ajuster les apports alimentaires de façon à corriger l'importance et la nature des réserves.

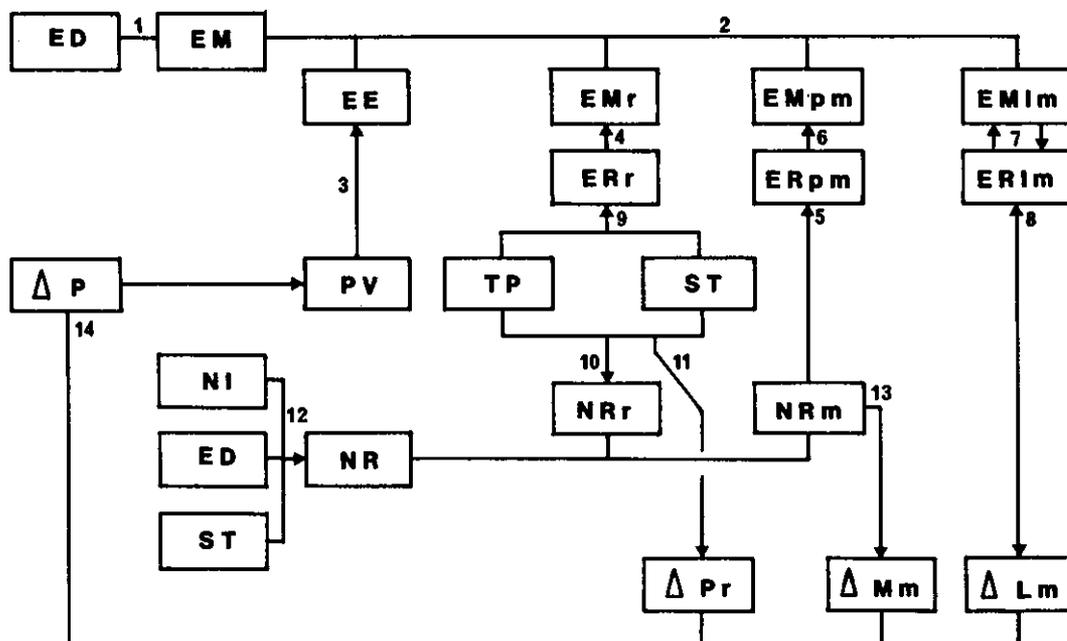
Les informations sur l'état et l'évolution des réserves tissulaires peuvent être obtenues directement par la méthode des abattages. Mais compte tenu de sa lourdeur, cette technique a été peu utilisée chez la truie et seules les données analytiques concernant le métabolisme énergétique et azoté sont disponibles. Les connaissances sur le métabolisme énergétique de la truie gestante ont surtout progressé au cours de la dernière décennie (de WILDE, 1980 ; BURLACU *et al.*, 1983 ; CLOSE *et al.*, 1985 ; NOBLET et ETIENNE, 1987). Ces travaux apportent des éléments nouveaux sur les différentes étapes de l'utilisation de l'énergie et sur l'importance du besoin énergétique. En ce qui concerne le métabolisme protéique, le bilan azoté a été mesuré au cours de nombreux essais conduits dans des situations nutritionnelles et des conditions expérimentales diverses.

L'objectif de cette étude est d'appliquer les connaissances acquises récemment sur le métabolisme énergétique et azoté à un modèle de simulation permettant de prévoir l'importance et la composition du gain de poids de gestation en fonction des apports de protéines et d'énergie dans l'aliment. Une approche similaire a déjà été effectuée par WILLIAMS *et al.* (1985). Toutefois, dans cette étude, l'appréciation de la rétention azotée est basée sur un nombre limité de résultats, ce qui pourrait expliquer les écarts observés entre les données du modèle et les valeurs mesurées, en particulier chez la truie multipare.

## I - PRESENTATION DU MODELE

Le modèle proposé est basé sur l'estimation de l'utilisation de l'énergie et de l'azote alimentaire (Figure 1). Les paramètres ayant servi à l'établir sont regroupés dans l'annexe 1.

FIGURE 1  
SCHÉMA GÉNÉRAL DE FONCTIONNEMENT DU MODÈLE



(Les numéros renvoient aux équations de l'annexe.)

## 1 - UTILISATION DE L'ÉNERGIE

L'énergie métabolisable est utilisée pour la couverture des besoins d'entretien, les dépôts énergétique et protéique dans les tissus liés à la reproduction (utérus et mamelle) et dans les tissus maternels. Les dépôts utérins et les besoins d'entretien sont couverts de façon prioritaire. Ces derniers sont proportionnels au poids métabolique et estimés à 440 KJ/kg<sup>0.75</sup> (eq 3 ; CLOSE *et al.*, 1985 ; NOBLET et ETIENNE, 1987). La quantité d'énergie fixée dans les tissus utérin et mammaire est calculée en fonction du stade de gestation et de la taille de la portée (eq 9a et 9b ; NOBLET *et al.*, 1985). On obtient le besoin en EM correspondant en retenant un rendement de 50% pour le dépôt d'énergie dans l'utérus (eq 5 ; NOBLET et ETIENNE, 1987).

L'EM restante, la couverture des besoins d'entretien et de croissance utérine et mammaire étant assurée, est utilisée pour le dépôt de protéines et de lipides dans les tissus maternels. La quantité de protéines fixées est liée à la qualité et à la quantité des apports azotés, au niveau énergétique et au stade de gestation (voir paragraphe suivant). Le rendement d'utilisation de l'EM pour la fixation de protéines est supposé égal à 60%. Les besoins énergétiques des dépôts de protéines étant couverts, le reste de l'EM est utilisé pour la fixation de lipides avec un rendement de 85% (eq 6 et 7 ; CLOSE *et al.*, 1985 ; NOBLET et ETIENNE, 1987). En cas de déficit énergétique, les lipides corporels sont mobilisés avec un rendement de 85% (eq 8).

## 2 - UTILISATION DE L'AZOTE

Les connaissances sur l'utilisation des protéines alimentaires par la truie en gestation, en particulier la truie multipare, sont fragmentaires. Nous avons regroupé les résultats de 23 essais dans lesquels la rétention azotée était mesurée. Ils portent sur un total de 140 résultats obtenus à partir de 900 bilans réalisés à des stades de gestation et dans des conditions nutritionnelles diverses. Toutefois, seules ont été retenues les expériences où les apports de protéines étaient équilibrés. Le domaine

de variation des différents critères étudiés est rapporté au tableau 1. Les données ont été analysées suivant un modèle linéaire tenant compte de l'effet expérience (Expi), du stade de gestation (ST) et de facteurs de variation d'ordre nutritionnel ( $X_1, \dots, X_i$ ).

$$Y_i = \text{Expi} + a \times \text{ST} + b_1 \times X_1 + \dots + B_i \times X_i$$

Pour toutes ces équations, Les coefficients de corrélation correspondant aux diverses équations proposées, incluent la part de la variance expliquée par l'effet expérience.

**TABEAU 1**  
DOMAINE DE VARIATION DES VARIABLES ÉTUDIÉES DANS LES DIFFÉRENTES EXPÉRIENCES CONCERNANT LA RÉTENTION AZOTÉE

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Stade de gestation (jours)	5	111	71,1	29,4
Énergie digestible (MJ/jour)	12,3	49,5	29,1	5,9
Azote ingéré (g/jour)	10,3	109,4	43,4	14,5
Azote retenu (g/jour)	1,4	30,1	13,1	4,7

Les différents modèles montrent que la rétention journalière d'azote (NR,g) dépend étroitement de la quantité d'azote ingéré (NI,g).

$$\text{NR} = 1,4 + 0,27 \times \text{NI} \quad R^2 = 0,690$$

Du fait de la plage de variation des apports azotés et de la variété des conditions expérimentales, la quantité d'azote ingéré n'est généralement pas le seul facteur limitant la rétention azotée. Ceci explique probablement que l'on obtienne une équation différente de celle donnée par KEMM (1974) :  $\text{NR} = -3,2 + 0,34 \times \text{NI}$ .

La rétention azotée est également dépendante de la quantité d'énergie digestible apportée par le régime et du stade de gestation (ELSLEY *et al.*, 1966 ; ETIENNE et HENRY, 1973). Aussi, l'introduction de ces variables améliore-t-elle significativement l'ajustement. L'équation est alors :

$$\text{NR} = -5,97 + 0,23 \times \text{NI} + 0,191 \times \text{ED} + 0,051 \times \text{ST} \quad R^2 = 0,787$$

Toutefois, la réponse aux apports d'énergie et d'azote ne semble pas être linéaire. En effet, la transformation logarithmique de ces variables améliore sensiblement la précision de l'ajustement. De plus, les données utilisées ne mettent pas en évidence un plafonnement de la rétention azotée qui serait associé à l'augmentation des apports azotés ou énergétiques. La nouvelle équation est donc :

$$\text{NR} = -55,92 + 10,22 \times \ln(\text{NI}) + 8,00 \times \ln(\text{ED}) + 0,051 \times \text{ST} \quad R^2 = 0,855$$

NOBLET *et al.* (1985) ont montré que la rétention azotée dans l'utérus est une fonction exponentielle du stade de gestation, alors que la rétention azotée dans la carcasse n'évolue pas au cours de la gestation. Dans notre étude, la prise en compte du stade sous la forme exponentielle n'améliore toutefois pas significativement la précision de la régression. Néanmoins elle correspond mieux à la chronologie des dépôts. L'équation retenue sera donc :

$$\text{NR} = -57,88 + 10,22 \times \ln(\text{NI}) + 8,00 \times \ln(\text{ED}) + 2,72 \times \text{Exp}(0,01 \times \text{ST}) \quad R^2 = 0,856$$

Dans la totalité des essais qui ont servi à établir ces équations, la rétention azotée a été mesurée par la méthode des bilans. Or, chez le porc à l'engrais, JUST *et al.* (1982) ont montré que cette

technique surestime la rétention azotée réelle, déterminée par la méthode des abattages. Selon ces auteurs, la différence, qui s'explique par des imprécisions sur la mesure des pertes (fèces et urines), représente environ 12% de la valeur mesurée par bilan. La rétention azotée est généralement plus faible chez truie en gestation que chez le porc à l'engrais. Cependant le coefficient d'utilisation pratique de l'azote est voisin, ce qui nous permet raisonnablement d'appliquer la même correction que chez le porc en croissance. L'équation utilisée dans le modèle pour prédire la rétention azoté journalière devient donc :

$$NR = 0,88 \times (-57,88 + 10,22 \times \ln(NI) + 8,00 \times \ln(ED) + 2,72 \times \exp(0,01 \times ST)) \quad \text{eq 12}$$

Du fait même de la structure de cette équation et en particulier de l'absence de plafonnement de la rétention azotée, elle ne doit être utilisée que dans des limites raisonnables d'apports énergétiques et azotés, à savoir 23 à 36 MJ d'énergie digestible/jour et 180 à 380 g de protéines équilibrées.

L'azote retenu, calculé par la méthode établie ci-dessus est réparti entre les dépôts utérin et mammaire qui sont prioritaires, et les dépôts maternels. La quantité d'azote fixé dans l'utérus et la mamelle est estimée par les équations proposées par NOBLET *et al.* (1985) en fonction de la taille de la portée et du stade de gestation (eq 10a et 10b). Par différence entre la fixation totale d'azote et l'azote fixé dans l'utérus et la mamelle, on déduit la rétention azotée dans les tissus maternels.

### 3 - EVOLUTION PONDÉRALE

Le gain de poids au niveau de l'utérus et de la mamelle est calculé en fonction du stade de gestation et de la taille de la portée ( eq 11a, 11b, 11c ; NOBLET *et al.*, 1985). En ce qui concerne les tissus maternels, le gain de poids est obtenu à partir des dépôts de protéines et de lipides. Pour cela, on suppose qu'au dépôt de 1g de protéines ou de lipides correspond respectivement une variation pondérale de 4,35 ou de 1 g (eq 13 ; ETIENNE et NOBLET, non publié). Le gain de poids ainsi calculé est alors majoré de 3% pour tenir compte de la fixation de minéraux (eq 14, SHIELDS et MAHAN, 1983).

### 4 - UTILISATION DU MODÈLE

Pour chaque jour de gestation on établit, à l'aide des équations définies ci-dessus, les gains de poids et les dépôts d'énergie et d'azote au niveau de l'utérus, de la mamelle et des tissus maternels, en relation avec le poids vif, le stade de gestation et les quantités d'azote et d'énergie ingérées. Le poids vif est calculé chaque jour en tenant compte du gain de poids cumulé depuis la saillie.

## II - VALIDATION DU MODELE

Afin de valider le modèle ainsi défini, 5200 cycles de reproduction suivis au cours de 34 expériences et représentant 149 situations nutritionnelles différentes ont été utilisés. Sur ces données on a calculé le gain de poids total et le gain de poids net de gestation à l'aide du modèle. Les résultats ont été comparés à ceux effectivement mesurés dans les différents essais. Le tableau 2 présente les valeurs moyennes et écart-types des variables mesurées et calculées.

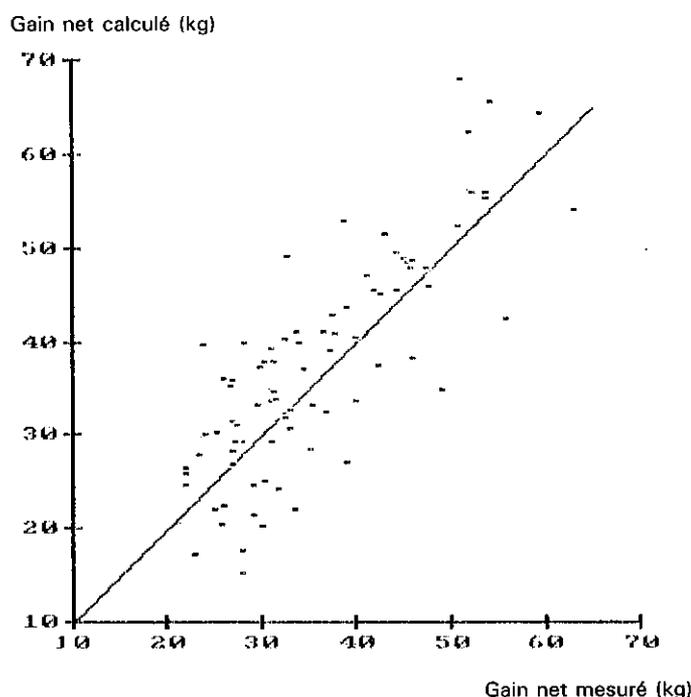
En moyenne, le modèle aboutit à une surestimation de 6% du gain total et de 9% du gain net. Toutefois la précision est satisfaisante (figure 2) puisque le coefficient de corrélation est de 0,85 pour le gain total et 0,83 pour le gain net.

**TABEAU 2**  
MOYENNE ET ÉCART-TYPE DES VARIABLES MESURÉES  
ET CALCULÉES POUR LA VALIDATION DU MODÈLE

		Moyenne	Écart-type	Effectif
Numéro de portée		1,7	1,0	149
Poids à la saillie	(kg)	141	29	149
ED/j	(MJ)	27,4	5,4	149
Azote ingéré/j	(g)	42,3	10,5	149
Gain total mesuré	(kg)	46,3	14,2	94
Gain net mesuré	(kg)	29,3	13,5	126
Gain total calculé	(kg)	49,0	17,6	94
Gain net calculé	(kg)	31,7	15,5	126
Erreur (1) gain total	(kg)	2,7	9,3	94
Erreur (1) gain net	(kg)	2,7	8,7	126

(1) Erreur = Gain calculé - Gain mesuré.

**FIGURE 2**  
RELATION ENTRE LE GAIN DE POIDS NET CALCULÉ PAR LE MODÈLE  
ET LE GAIN DE POIDS NET MESURÉ  
DANS 34 EXPÉRIENCES ISSUES DE LA BIBLIOGRAPHIE



Les écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées ont été analysés afin de déterminer les limites du modèle. Ainsi, l'augmentation du numéro de portée entraîne une surestimation croissante du gain net et du gain total de gestation (tableau 3). A priori, ces écarts correspondent à une surestimation de la rétention azotée chez les truies multipares. En effet, contrairement aux lipides, une légère erreur sur la quantité d'azote fixé entraîne un écart important sur la variation pondérale. De plus, en raison du faible nombre de bilans établis sur femelles multipares, le numéro de portée n'a pas été pris en compte dans l'équation de prédiction de la rétention azotée totale. Il est possible d'estimer, à postériori, la correction à apporter au calcul de la rétention azotée du modèle pour annuler l'erreur liée au numéro de portée. La diminution de la rétention azotée de 1g/jour se traduit sur la totalité de la gestation par une réduction du gain de muscle de 3,1 Kg et une augmentation du dépôt de tissus gras de 600 g, soit une réduction du gain de poids de 2,5 Kg.

Les corrections de la rétention azotée, obtenues par cette approche, sont données au tableau 3. Ces valeurs sont en accord avec les données utilisées dans la première partie pour déterminer l'équation de prédiction de la rétention azotée. En effet, sur ces données, on obtenait un écart de rétention azotée de 2g/jour entre les primipares et les multipares. En attendant des informations complémentaires sur la rétention azotée chez la truie multipare, il semble justifié de corriger l'équation 12 en fonction des éléments obtenus au tableau 3.

**TABLEAU 3**  
INFLUENCE DU NUMÉRO DE PORTÉE SUR LA PRÉCISION DU MODÈLE

	Numéro de portée				Sign. Sta (1)
	1	2	3	4-5	
Erreur gain total (kg)	0,5	1,3	2,6	6,3	NS **
Erreur gain net (kg)	- 1,3	1,5	4,2	6,3	
Correction à apporter à la rétention azotée (g/jour)	+ 0,5	- 0,6	- 1,7	- 2,5	

(1) Signification statistique : NS non significatif au seuil 10 % ; \*\* P < 0,01.

D'autres facteurs peuvent expliquer les écarts individuels observés. Ainsi, les expériences choisies pour valider le modèle ont été réalisées dans des conditions de milieu diverses et non précisées. Or, les besoins d'entretien augmentent de 8 à 16 KJ/Kg<sup>0,75</sup>/°C en dessous de la température critique (VERHAGEN *et al.*, 1986). Par ailleurs, la rétention azotée serait également réduite suite à la diminution de la température (VERHAGEN *et al.*, 1986). Cependant les résultats disponibles concernant l'effet de la température restent encore insuffisants pour que l'on puisse l'introduire comme variable explicatrice dans notre modèle. Il en va de même pour l'influence éventuelle d'une activité physique importante.

### III - CONCLUSION

Le modèle établi permet d'estimer de façon satisfaisante l'importance et la nature des réserves constituées par la truie au cours de la gestation. A titre d'illustration, on s'est intéressé à trois situations particulières. Les deux premières concernent l'influence d'apports croissants d'énergie (de 26 à 34 MJ ED/jour) ou de protéines (de 220 à 360 g /jour) chez la truie primipare saillie à 130 Kg et la troisième l'effet du numéro de portée.

L'augmentation des apports énergétiques provoque un accroissement du gain net de gestation (figure 3) associé à une très forte augmentation de la quantité d'énergie et de lipides fixés. De plus, la teneur en énergie du gain de poids s'accroît de façon importante : 11,5 MJ/Kg pour un gain net de 29 Kg et un apport de 26 MJ ED/j contre 20,1 MJ/Kg pour un gain net de 50 Kg et un apport de 34 MJ ED/j.

L'augmentation des apports de protéines provoque un accroissement du gain net de gestation (figure 4). Mais dans ce cas la quantité d'énergie, et de lipides fixés diminue, la variation de gain de poids s'expliquant uniquement par l'augmentation des dépôts de tissus maigres. Ceci se traduit par une diminution de la teneur en énergie du gain de poids qui passe de 21,7 MJ/Kg pour un gain net de 37 Kg et un apport de 220g de protéines/j à 15,4 MJ/Kg pour un gain net de 47 Kg et un apport de 360g de protéines/j. Ces deux exemples mettent en évidence le risque de raisonner les apports alimentaires de gestation uniquement en fonction d'un objectif de gain de poids. En effet, avec des apports variés d'énergie et de protéines, il est possible d'obtenir des gains de poids identiques mais de composition différente, surtout en termes de teneur en énergie.

FIGURE 3

ESTIMATION PAR LE MODÈLE DE L'INFLUENCE D'APPORTS CROISSANTS D'ÉNERGIE AU COURS DE LA GESTATION CHEZ LA TRUIE PRIMIPARE (130 KG A LA SAILLIE, 280 G DE PROTÉINES/JOUR) SUR LA COMPOSITION DU GAIN DE POIDS NET (P) ET LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE FIXÉE (En)

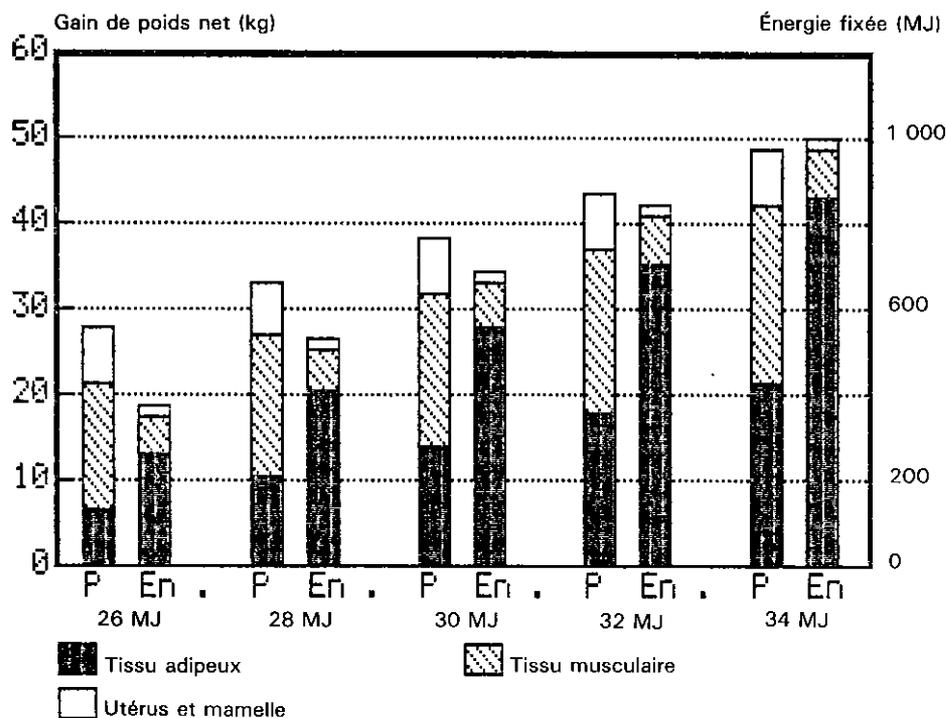
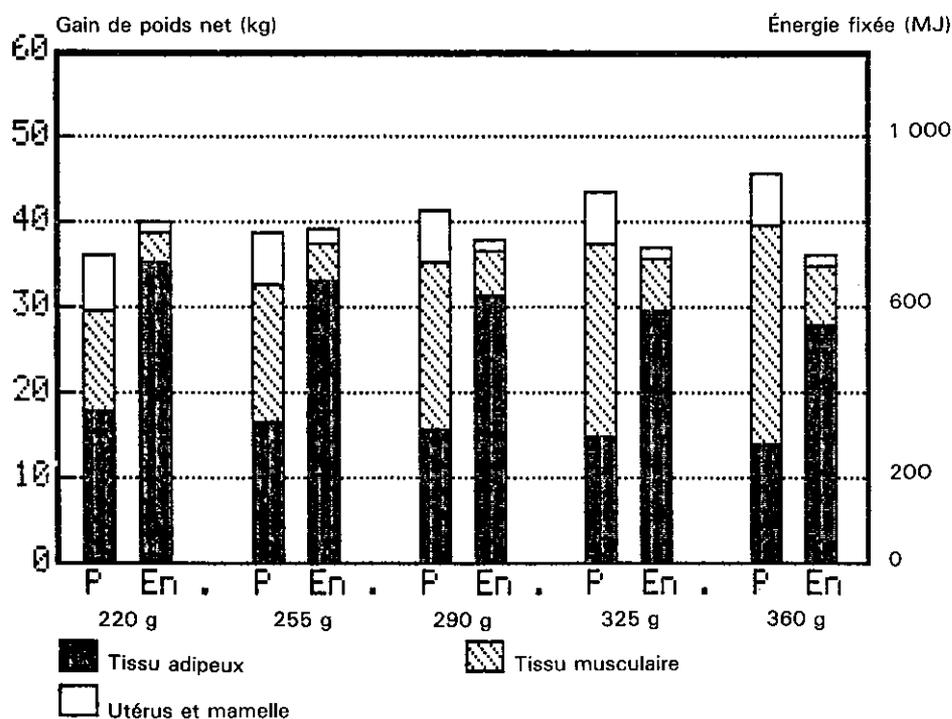


FIGURE 4

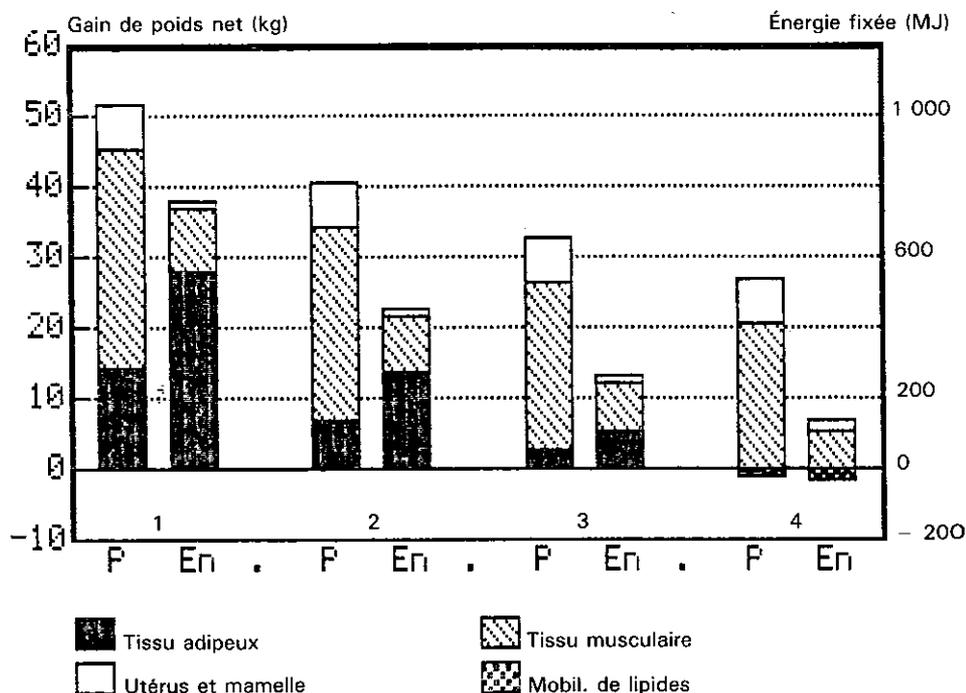
ESTIMATION PAR LE MODÈLE DE L'INFLUENCE D'APPORTS CROISSANTS DE PROTÉINES AU COURS DE LA GESTATION CHEZ LA TRUIE PRIMIPARE (130 KG A LA SAILLIE, 31 Mj d'ED/jour) SUR LA COMPOSITION DU GAIN DE POIDS NET (P) ET LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE FIXÉE (En)



Le troisième exemple concerne l'influence du numéro de portée sur la nature du gain net de gestation chez des truies recevant une alimentation identique au cours des cycles successifs (310g de protéine et 31,5 MJ (soit 7500 Kcal) d'énergie digestible/jour). Les poids à la saillie retenus pour les calculs sont respectivement de 125, 165, 190 et 210 Kg pour les portées 1 à 4 (CASTAING *et al.*, 1983). L'accroissement du numéro de portée se traduit par un gain de poids net de plus en plus faible (figure 5), et surtout par une réduction très importante des quantités de lipides et d'énergie fixés. Au cours de la 4ème gestation les truies arrivent même à mobiliser des lipides. Cette évolution reflète l'augmentation des besoins d'entretien associée à l'accroissement du poids des animaux. Ce résultat, en accord avec les observations de WHITTEMORE (1980) et les conclusions d'ETIENNE (1987), montre qu'il existe un risque d'appauvrissement passif des réserves adipeuses au cours des cycles successifs, même en l'absence d'une mobilisation importante au cours de la lactation.

FIGURE 5

ESTIMATION PAR LE MODÈLE DE L'INFLUENCE DU NUMÉRO DE PORTÉE SUR LA COMPOSITION DU GAIN DE POIDS NET (P) ET LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE FIXÉE (En) POUR UN APPORT CONSTANT D'ÉNERGIE ET DE PROTÉINES AU COURS DES DIFFÉRENTES GESTATIONS (31,3 MJ ED/j et 310 g de protéines/j)



En conclusion, le modèle présenté permet de prédire avec une précision satisfaisante les variations de composition corporelle associées à des modifications des apports nutritionnels ou au numéro de portée. La mise au point du modèle souligne toutefois le manque d'informations précises concernant les facteurs de variation de la rétention azotée, en particulier le numéro de portée, et l'effet des conditions d'élevage sur les besoins d'entretien des animaux.

## BIBLIOGRAPHIE

### 1 - Modèle

- BURLACU C., ILIESCU M., CARMINA P., 1983. Arch. Tierernähr., **33**, 23-45.
- CLOSE W.H., NOBLET J., HEAVENS R.P., 1985. Br J. Nutr., **53**, 267-279.
- DE WILDE R.O., 1980. Livest. Prod. Sci., **7**, 505-510.
- DUEE P.H., SEVE B., 1978. Journées Rech. Porcine en France, **10**, 167-207.
- ETIENNE M., 1987. Journées Rech. Porcine en France, **19**, (sous presse).
- HENRY Y., ETIENNE M., 1978. Journées Rech. Porcine en France, **10**, 119-167.
- MacLEAN C.W., 1969. Vet. Rec., **85**, 675-682.
- NOBLET J., CLOSE W.H., HEAVENS R.P., 1985. Br. J. Nutr., **53**, 251-265.
- NOBLET J., CLOSE W.H., HEAVENS R.P., 1985. Br. J. Nutr., **53**, 251-265.
- NOBLET J., ETIENNE M., 1986. J. Anim. Sci. (sous presse).
- NOBLET J., ETIENNE M., 1987. Livest. Prod. Sci. (sous presse).
- REESE D.E., PED E.R., LEWIS A.J., 1984. J. Anim. Sci., **58**, 1236-1244.
- SHIELDS R.G. Jr., MAHAN D.C., 1983. J. Anim. Sci., **57**, 594-603.
- VERHAGEN J.M.F., VERSTEGEN M.W.A., GEUYEN T.P.A., KEMP B., 1986. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., **55**, 246-256.
- WHITTEMORE C.T., FRANKLIN M.F., PEARCE B.S., 1980. Anim. Prod., **31**, 183-190.
- WILLIAMS I.H., CLOSE W.H., COLE D.J.A., 1985. In, Recent Advances in Animal Nutrition, Butterworths, London, pp. 133-147.

### 2 - Rétention azotée

- CORLEY J.R., ESCH M.W., BAHN J.M., EASTER R.A., 1983. J. Anim. Sci., **56**, 108-117.
- CUARON J.A., CHAPPLE R.P., EASTER R.A., 1984. J. Anim. Sci., **58**, 631-637.
- DUEE P.H., 1977. V<sup>th</sup> International symposium on amino acids, February 21-26 1977, Budapest.
- DUEE P.H., DESMOULIN B., ETIENNE M., DURAND G., 1983. Ann. Zootech., **32**, 21-42.
- ELSLEY F.W.H., ANDERSON D.M., MacDONALD I., MacPHERSON R.M., SMART R., 1966. Anim. Prod., **8**, 391-400.
- ETIENNE M., 1985. Journées Rech. Porcine en France, **17**, 433-440.
- ETIENNE M., HENRY Y., 1973. Ann. Zootech., **22**, 311-326.
- HOLZGRAEFE D.P., FAHEY G.C.Jr., JENSEN A.H., BERGER L.L., 1984. J. Anim. Sci., **60**, 1247-1259.
- JONES R.D., MAXWELL C.V., 1974. J. Anim. Sci., **39**, 1067-1072.
- JUST A., FERNANDEZ J.A., JORGENSEN H., 1982. In LAPLACE J.P., CORRING T., RERAT A. (Ed) Digestive physiology of the pig. Les colloques de l'I.N.R.A. **12**, 207.
- KEMM E.H., 1974. PhD Thesis, University of Stellenbosh.
- LANGE de P.G.B., van KEMPEN G.J.M., KLAVER J., VERSTEGEN M.W.A., J. Anim. Sci., **50**, 886-891.
- MILLER G.M., BECKER D.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., NORTON H.W., 1969. J. Anim. Sci., **28**, 204-207.
- PIKE I.H., 1970. J. Agri. Camb., **74**, 209-215.
- POLLMANN D.S., DANIELSON D.M., PED E.R.Jr, 1979. J. Anim. Sci., **48**, 1385-1393.
- RIPPEL R.H., HARMON B.G., JENSEN A.H., NORTON H.W., BECKER D.E., 1965. J. Anim. Sci., **24**, 209-215.
- ROBLES-CABRERA A., SPEER V.C., 1983. J. Anim. Sci., **57**, 1479-1486.
- ROMBAUTS P., 1962. Ann. Zootech., **11**, 39-51.
- SALMON-LEGAGNEUR E., DUEE P.H., 1972. Journées Rech. Porcine en France, **4**, 157-161.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1965. Thèse, Faculté des Sciences de Paris.
- WILLIS G.M., MAXWELL C.V., 1984. J. Anim. Sci., **58**, 647-655.

### 3 - Validation

- ATINMO T., POND W.G., BARNES R.H., 1974. J. Nutr., **104**, 1033-1040.

- BAKER D.H., BECKER D.E., NORTON H.W., SASSE C.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1969. *J. Nutri.*, **97**, 489-495.
- BAKER D.H., MOLITORIS B.A., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1969. *J. Anim. Sci.*, **38**, 325-329.
- BUITRAGO J.A., MANER J.H., GALLO J.T., POND W.G., 1974. *J. Anim. Prod.*, **39**, 47-52.
- CASTAING J., FEKETE J., LEUILLET M., 1980. *Journées Rech. Porcine en France*, **15**, 267-284.
- CASTAING J., FEKETE J., LEUILLET M., 1980. *Journées Rech. Porcine en France*, **12**, 299-315.
- CLAWSON A.J., RICHARDS H.L., MATRONE G., BARRICK E.R., 1963. *J. Anim. Sci.*, **22**, 662-669.
- CLOSE W.H., NOBLET J., HEAVENS R.P., 1984. *Livest. Prod. Sci.*, **11**, 517-527.
- CRENSHAW M.A., DANIELSON D.M., 1985. *J. Anim. Sci.*, **60**, 163-170.
- DUEE P.H., DESMOULIN B., ETIENNE M., DURAND G., 1983. *Ann. Zootech.*, **32**, 21-42.
- ELLIOT J.I., LODGE G.A., FORTIN A., 1982. *Anim. Prod.*, **34**, 17-29.
- FROBISH L.T., 1970. *J. Anim. Sci.*, **29**, 486-490.
- FROBISH L.T., STEELE N.C., DAVEY R.J., 1973. *J. Anim. Sci.*, **36**, 293-297.
- GREENHALGH J.F.D., ELSLEY F.W.H., GRUBB D.A., LIGHTFOOT A.L., SAUL D.W., SMITH P., WALKER N., WILLIAMS D., YEO M.L., 1977. *Anim. Prod.*, **24**, 307-321.
- GREENHALGH J.F.D., BAIRD B., GRUBB D.A., DONE S., LIGHTFOOT A.L., SMITH P., TOPLIS P., WALKER N., WILLIAMS D., YEO M.L., 1980. *Anim. Prod.*, **30**, 395-406.
- HOVELL F.D.DeB., MacPHERSON R.M., CROFTS R.M.J., PENNIE K., 1977. *Anim. Prod.*, **25**, 233-245.
- KIRCHGESSNER M., MERK L., 1984. *Z. Tierphy. Thierernähr. u. Futtermittelkde.*, **52**, 124-136.
- KIRCHGESSNER M., ROTH-MAIR D.A., NEUMAN F.J., 1984. *Züchtungskunde*, **56**, 176-189.
- LAVOREL O., BOUARD J.P., LEUILLET M., 1981. *Journées Rech. Porcine en France*, **13**, 109-124.
- LEE P.A., MITCHEL K.G., 1984. 35TH Ann. Meet. E.A.A.P., La Haye.
- LIBAL G.W., WAHLSTROM R.C., 1977. *J. Anim. Sci.*, **45**, 286-292.
- MAHAN D.C., 1977. *J. Anim. Sci.*, **45**, 1061-1072.
- MAHAN D.C., 1979. *J. Anim. Sci.*, **49**, 514-521.
- MAHAN D.C., MANGAN D.C., 1975. *J. Nutri.*, **105**, 1291-1298.
- MICHEL E.J., EASTER R.A., NORTON H.W., RUNDQUIEST J.K., 1980. *J. Anim. Sci.*, **50**, 93-98.
- MICHEL E.J., EASTER R.A., 1985. *Livest. Prod. Sci.*, **13**, 179-189.
- POND W.G., YEN J.T., YEN L.H., 1986. *J. Anim. Sci.*, **63**, 472-483.
- POND W.H., MERSMANN H.J., YEN J.T., 1985. *J. Nutri.*, **115**, 179-189.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1969. *Journées Rech. Porcine en France*, **1**, 77-81.
- SALMON-LEGAGNEUR E., DUEE P.H., 1972. *Journées Rech. Porcine en France*, **41**, 157-161.
- VERMEDAHL L.D., MEADE R.J., HANKE H.E., RUST J.W., 1969. *J. Anim. Sci.*, **28**, 465-472.

## ANNEXE

## ÉQUATIONS UTILISÉES POUR ÉTABLIR LE MODÈLE

- Eq 1 - Estimation de l'énergie métabolisable (EM) à partir de l'énergie digestible (ED).  
 $EM = 0,95 \times ED$
- Eq 2 - Répartition de l'EM entre les besoins d'entretien (EE), les dépôts de tissus liés à la reproduction (EMr), de protéines maternelles (EMpm) et de lipides maternels (EMlm).  
 $EM = EE + EMr + EMpm + EMlm$
- Eq 3 - Besoin d'entretien (EE) en fonction du poids métabolique.  
 $EE = 440 \times PV^{0,75}$
- Eq 4 - Rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable (EMr) pour le dépôt d'énergie dans les tissus reproducteurs (ERr).  
 $ERr = 0,5 \times EMr$
- Eq 5 - Quantité d'énergie fixée dans les tissus maternels sous la forme de protéines (ERpm) en fonction de la quantité d'azote fixé dans ces tissus (NRpm)  
 $ERpm = NRpm \times 6,25 \times 23,8 / 1\ 000$
- Eq 6 - Efficacité de l'utilisation de l'EM (EMpm) pour les dépôts d'énergie sous la forme de protéines (ERpm).  
 $ERpm = EMpm \times 0,60$
- Eq 7a - Efficacité de l'utilisation de l'EM (EMlm) pour les dépôts d'énergie sous la forme de lipides, dans les tissus maternels  
 $ERlm = EMlm \times 0,85$
- Eq 7b - Rendement d'utilisation de l'énergie des lipides maternels (EMlm) pour couvrir un déficit énergétique (ERlm)  
 $ERlm = EMlm / 0,85$
- Eq 8 - Quantité de lipides fixés (DPI) dans les tissus maternels en fonction de la quantité d'énergie fixée (ERlm) sous cette forme.  
 $DPI = ERlm / 0,0397$
- Eq 9 - Énergie retenue dans l'utérus et la mamelle en fonction du stade de gestation (ST) et de la taille de la portée.  
**9a** Dans l'utérus  
 $\ln(ERru) = 12,95 - 4,98 \times \exp(-0,00704 \times (ST - 45)) + 0,045 \times ST + 0,066 \times TP$   
**9b** Dans la mamelle  
 $\ln(ERrm) = 2,59 - 6,90 \times \exp(+0,00185 \times (ST - 45))$
- Eq 10 - Quantité d'azote fixé dans l'utérus (NRru) et dans la mamelle (NRrm) en fonction du stade de gestation (ST) et de la taille de la portée (TP).  
**10a** Dans l'utérus  
 $\ln(148,75 \times NRru) = 12,21245 - 4,46636 \times \exp(-0,00722 \times (ST - 45)) + 0,00575 \times ST + 0,06217 \times TP$   
**10b** Dans la mamelle  
 $\ln(148,75 \times NRrm) = 2,63473 + 3,32153 \times \exp(0,00991 \times (ST - 45))$
- Eq 11 - Poids de l'utérus (Pru) et de la mamelle (Prm) en fonction du stade de gestation et de la taille de la portée (TP).  
**11a** Utérus plein  
 $\ln(Pru) = 8,74519 - 1,59844 \times \exp(-0,5407 \times (ST - 45)) + 0,00150 \times ST + 0,09745 \times TP$   
**11b** Utérus vide  
 $\ln(Pru) = 6,81760 - 0,60473 \times \exp(-0,0461 \times (ST - 45)) + 0,00277 \times ST + 0,07790 \times TP$   
**11c** Mamelle  
 $\ln(Prm) = 6,46716 + 0,07997 \times \exp(0,04576 \times (ST - 45))$
- Eq 12 - Équation de prédiction de la rétention azotée totale (NR) en fonction de l'azote ingéré (NI), de l'énergie digestible ingérée (ED) et du stade de gestation (ST).  
 $NR = 0,88 \times (-57,88 + 10,22 \times \ln(NI) + 8,00 \times \ln(ED) + 2,72 \times \exp(0,01 \times ST))$
- Eq 13 - Gain de poids (DPp) associé à la fixation de protéines dans les tissus maternels (NRm).  
 $DPp = NRm \times 6,25 / 0,23$
- Eq 14 - Calcul du gain de poids (DP) en fonction des gains de poids associés aux dépôts utérin (DPru) et mammaire (DPrm) ainsi que dans la carcasse sous la forme de lipides (DPI) ou de protéines (DPp).  
 $DP = DPru + DP\varnothing m + (DPI + DPp) / 0,97$