

Influence du régime sur les quotients respiratoires chez le porc en croissance

par Geneviève CHARLET-LERY, Marie-Thérèse MOREL

Laboratoire de Physiologie de la Nutrition
I.N.R.A., 78350 Jouy-en-Josas

Summary. *Influence of diet on respiratory quotients and fat deposition in growing pigs.*

Shortlasting measurements of gaseous exchanges in total confinement repeated several times during the day were used to study variations in these exchanges and in the respiratory quotient (RQ) during 23 h after meal intake in growing pifs (35-65 kg).

The QR variations showed that lipogenesis took place during the first post-intake hours, whatever the protein concentration of the diet : nitrogen free, normal or high nitrogen level (25 p. 100 DM). In the last conditions values less than one (0.85) were observed during lipogenesis.

Fat deposition/ $W^{0.75}$ was highly correlated with ingested carbohydrates/ $W^{0.75}$ ($r = + 0.99$ $p > 0.01$), and energy efficiency of fat deposition (k_f) was 0.76. Any decrease of the carbohydrate supply, compensated for by an increase in the protein supply, slows down lipogenesis in growing pigs.

Introduction.

De très nombreux travaux ont montré les liaisons qui existent, chez le porc en croissance, entre les caractéristiques quantitatives et qualitatives des régimes et l'importance relative des dépôts protéiques et gras des carcasses obtenues. Or, chez ces animaux, l'apport énergétique de la ration étant surtout constitué de glucides la transformation métabolique de ces derniers en lipides corporels implique la formation d'importantes quantités de CO_2 .

Du fait de l'existence du pool carbonate de l'organisme susceptible de modifier momentanément la production de CO_2 par rejet ou prélèvement, et donc le QR, celui-ci est habituellement mesuré pendant des périodes relativement longues. Cependant, malgré cette cause d'erreurs, l'étude des modifications journalières que subit ce coefficient mesuré pendant des périodes inférieures à 30 minutes, nous a paru susceptible d'apporter des précisions sur la lipogenèse du porc.

Dans le cadre d'une recherche sur les dépenses prandiales et post-prandiales du porc en croissance, nous avons mis au point une méthode de mesure des échanges gazeux de courte durée (Charlet-Lery, 1975). La nécessité d'une bonne adaptation de l'animal au milieu expérimental, la brièveté des mesures et leur précision nous

ont conduit à utiliser une cage à métabolisme classique où le porc séjourne normalement, transformable en cage à confinement où la dilution des gaz respiratoires dans un espace limité permet une bonne précision analytique.

Matériel et méthodes.

Les porcs mâles castrés de race Large White (30-60 kg) reçoivent 2 repas par jour à 9 h et à 17 h sous forme semi-liquide et certains repas du matin sont remplacés par une simple buvée. Admettant la similitude des conséquences des repas du matin et du soir, nos mesures avant, pendant et après le repas du matin ou la buvée qui le remplace permettent de suivre les échanges gazeux entre les 1^{re} et 23^e heures post-prandiales.

Les mélanges alimentaires utilisés sont isoénergétiques (3 000 kcal EM environ). Leur apport de matière sèche est compris entre 65 et 120 g/Pkg^{0,75} (tabl. 1). Leur concentration protéique (0-25 p.100MS) varie aux dépens des sources glucidiques⁽¹⁾. L'adaptation des animaux à leur cage et aux mesures est de 3 semaines et l'adaptation au régime de 10 jours minimum. La température ambiante est celle de la neutralité thermique de porcs non à jeun (18-21°).

TABLEAU 1
Caractéristiques des régimes

Animal	Période	Poids kg	MS. i/repas g	EM/repas kcal	N/MS p. 100	MS. i /p ^{0,75} g/j	Mad /p ^{0,75} g/j	Glucides (?) /p ^{0,75} g/j
Eta	1	46,0	910 ⁽¹⁾	2 740	2,62	102,8	13,1	51
Théta	3	39,6	514 ⁽²⁾	1 491	4,65	65,1	15,4	23
Théta	5	47,3	927 ⁽³⁾	2 688	4,65	102,4	24,6	35
Iota	1	37,3	775 ⁽⁴⁾	2 382	1,82	102,6	10,1	51
Iota	2	53,6	1 180 ⁽⁵⁾	3 620	1,53	119,2	9,8	60
Iota	3	63,4	1 302 ⁽⁶⁾	3 949	0,02	115,7	0,0	93

⁽¹⁾ Concentré protéique mixte à 7,76 N p. 100 MS : 50 p. 100 + orge : 50 p. 100.

⁽²⁾ et ⁽³⁾ même concentré protéique : 89 p. 100 + farine de baleine : 11 p. 100.

⁽⁴⁾ Mélange protéoprive : 68 p. 100 + poudre de lait écrémé : 32 p. 100.

⁽⁵⁾ Mélange protéoprive : 73 p. 100 + poudre de lait écrémé : 27 p. 100.

⁽⁶⁾ Mélange protéoprive.

⁽⁷⁾ Glucides : cérélose, saccharose, lactose, amidon, selon les régimes.

Les échanges gazeux sont mesurés le matin à jeun (Métabolisme de Base approchée ou MBA), pendant le repas, puis 7 à 8 fois durant les 7 premières heures post-prandiales uniquement lorsque les animaux sont couchés. Pour pallier les irrégularités d'horaire, on calcule par intrapolation les échanges gazeux à temps fixe (30, 60,

⁽¹⁾ Cérélose et saccharose des régimes protéoprives, amidon des céréales, lactose de la poudre de lait écrémé.

90, 120, 180, 240, 300, 360, 420 mn) après le repas, le milieu du repas étant pris comme temps 0. Quatre à 6 couples de jours (un jour-repas et un jour-eau) sont étudiés par animal et par régime.

Les valeurs moyennes permettent donc de suivre l'évolution des échanges gazeux durant 23 h (fig. 1), de mesurer, par différence entre les phases post-repas et post-eau, l'oxygène et l'anhydride carbonique correspondants à l'extra-chaaleur durant les 30 et 420^e minutes post-prandiales (extra chaleur 30-420) (fig. 2), et de calculer par la formule de Brouwer les productions de chaleur correspondantes.

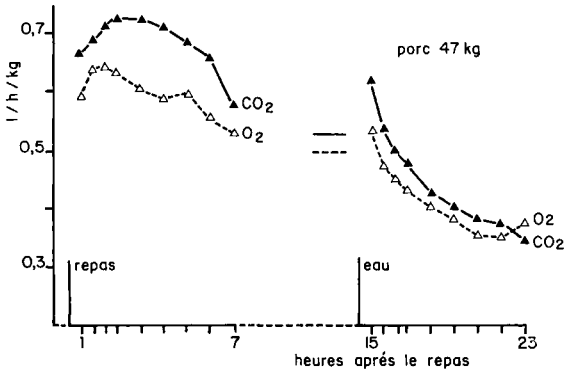


FIG. 1. — Cinétique des échanges respiratoires en fonction du temps écoulé depuis le repas.

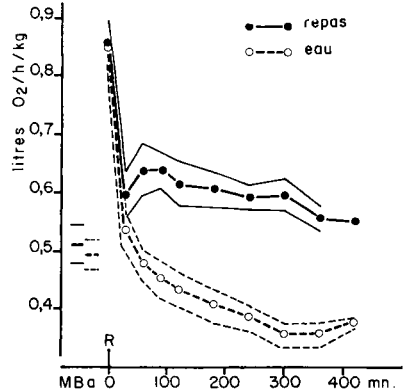


FIG. 2. — Consommation d'oxygène consécutive à l'ingestion d'un repas ou d'eau.

Résultats.

Quel que soit le régime, les valeurs intrapolées les plus élevées sont enregistrées pour l'oxygène au cours de la 2^e heure post-prandiale, pour l'anhydride carbonique au cours des 2 et 3^e heures, mais on constate de fortes irrégularités sur les données brutes.

Cependant durant les 7 h post-prandiales comme durant les 7 h post-eau, les consommations horaires d'O₂ ne sont pas significativement différentes ou ne le sont que faiblement, il en est de même pour les productions de CO₂. Ceci nous a permis d'étudier l'évolution des échanges gazeux à partir des données moyennes entre 1 et 7, 15 et 16, 17 et 23 h de jeûne. Le tableau 2 donne l'ensemble des résultats.

Le calcul, par intrapolation à temps fixe, des valeurs post-repas et post-eau entraîne en général une variabilité de leur moyenne plus faible que celle calculée à partir des valeurs brutes du MBA bien que pour ce dernier nous possédions un plus grand nombre de données.

La prolongation du jeûne abaisse ces valeurs plus rapidement pour CO₂ (30 à 59 p. 100 de chute entre les intervalles 17-23 et 1-7 h) que pour O₂ (20-41 p. 100). Les différences les plus fortes sont observées pour les régimes à teneur azotée normale ou inférieure à la normale, les plus faibles pour les régimes hyperazotés.

Il en résulte que les QR atteignent leurs valeurs maximales au cours des 7 h postprandiales et qu'ils sont significativement plus élevés après un repas qu'après ingestion d'eau.

TABLEAU 2

Evolution des échanges respiratoires moyens et des quotients respiratoires selon les animaux et leur régime (x ± S m)

Heures post-prandiales		Post-repas (1) 1-7	MBa (2) 15-16	Post-eau (1) 17-23	Extra-chaueur 30-420
Eta 1	O ₂ (3)	0,59 ± 0,01	0,50 ± 0,02	0,40 ± 0,02	57,3 (4)
	CO ₂ (3)	0,68 ± 0,02	0,53 ± 0,02	0,42 ± 0,03	80,5 (4)
	QR	1,14 ± 0,02	1,06 ± 0,03	1,06 ± 0,03	1,40
Theta 3	O ₂	0,63 ± 0,01	0,62 ± 0,02	0,51 ± 0,01	33,4
	CO ₂	0,54 ± 0,01	0,48 ± 0,01	0,38 ± 0,00	40,4
	QR	0,85 ± 0,02	0,79 ± 0,02	0,74 ± 0,01	1,21
Theta 5	O ₂	0,83 ± 0,01	0,66 ± 0,02	0,59 ± 0,01	58,7
	CO ₂	0,72 ± 0,01	0,59 ± 0,03	0,47 ± 0,02	73,7
	QR	0,87 ± 0,01	0,87 ± 0,04	0,74 ± 0,02	1,26
lota 1	O ₂	0,62 ± 0,01	0,47 ± 0,02	0,42 ± 0,00	48,3
	CO ₂	0,66 ± 0,01	0,47 ± 0,02	0,33 ± 0,01	81,1
	QR	1,07 ± 0,01	1,01 ± 0,06	0,78 ± 0,02	1,68
lota 2	O ₂	0,60 ± 0,02	0,41 ± 0,03	0,36 ± 0,01	88,1
	CO ₂	0,72 ± 0,02	0,39 ± 0,04	0,29 ± 0,00	149,9
	QR	1,19 ± 0,01	0,94 ± 0,05	0,82 ± 0,01	1,70
lota 3	O ₂	0,47 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,29 ± 0,01	73,2
	CO ₂	0,55 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,28 ± 0,01	111,7
	QR	1,17 ± 0,02	0,93 ± 0,04	0,95 ± 0,01	1,53

(1) Moyenne de 7 données intrapolées aux temps 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 mn.

(2) Moyenne de 8 à 12 données brutes.

(3) Litres/kg/h.

(4) Litres.

L'obtention séparée de O₂ et de CO₂ relatifs à l'extra-chaueur (30-420) permet de calculer le QR de cette extra-chaueur ; il est toujours nettement supérieur à l'unité : 1,20 à 1,70. Ces valeurs élevées, comme l'évolution des QR avec le temps, montrent l'intensité de la lipogenèse dans les premières heures qui suivent l'ingestion des repas, phénomène mis en évidence depuis fort longtemps (Wierzuchowski et Ling, 1925) mais qui, dans ce travail, est observé aussi avec des rations hyperprotéiques.

Le QR post-prandial de 1,17 et celui de l'extra-chaueur (30-420) de 1,53 obtenus avec le porc lota 3 recevant un aliment protéoprive à un niveau d'ingestion élevé (3 949 kcal EM par repas) montrent l'existence d'une lipogenèse chez un tel animal, ce qui explique la constance de son poids malgré la perte de protéines endogènes d'environ 45 g/j. Aussi après 3 à 4 semaines d'un tel régime la carcasse du porc présente des caractères d'hyperadiposité et d'atrophie musculaire spectaculaires comme nous l'avons observé chez des animaux abattus dans de telles conditions. Les résultats relatifs à cet animal sont éliminés des calculs ultérieurs.

Influence des apports alimentaires sur le QR.

En admettant que les divers glucides présents dans nos régimes (cérélose, saccharose, lactose, amidon de céréales essentiellement) sont utilisés d'une façon identique par le porc, nous avons pris leur somme en considération, soit 35 p. 100 pour les rations de Theta et 50 p. 100 pour celles de Eta 1 et Iota 1 et 2.

Les QR (30-420) sont liés d'une façon significative à l'ingestion glucidique rapportée au poids métabolique : $r = + 0,88$, $P < 0,05$. Il en est de même des QR post-prandiaux. Par contre la liaison avec les matières azotées digestibles est négative $r = - 0,77$ mais non significative.

Influence des apports alimentaires sur les dépôts lipidiques et protéiques.

Pour apprécier l'importance des dépôts tissulaires, nous avons calculé l'énergie métabolisable disponible pour leur dépôt par différence selon l'équation

$$\text{EM totale} - \text{EM entretien} = \text{EM croissance}$$

en admettant des besoins d'entretien pour un dépôt protéique nul égaux à 100 kcal/ $P^{0,75}$ (Kielanowski et Kotarbinska, 1974 ; Thorbeck, 1974).

Les hypothèses suivantes :

- coût identique des dépôts pondéraux de protides et de lipides corporels, donc du dépôt énergétique total de 13 kcal EM/g, soit des efficacité énergétiques respectives de 40 et 70 (Kielanowski et Kotarbinska, 1974),
- coefficients de digestibilité et de rétention protéique de nos animaux identiques à ceux préalablement mesurés sur d'autres animaux ou évalués par comparaison,
- rapport de 3,36 entre le dépôt protéique et les dépôts d'eau et de matières minérales qui constituent le reste du gain corporel selon les mêmes auteurs, permettent de calculer successivement le dépôt pondéral total, le dépôt protéique et par différence le dépôt lipidique. La connaissance des dépôts d'eau et de matières minérales permet de calculer le gain de poids théorique de nos animaux au cours de chaque période (7-9 semaines).

Le tableau 3 résume ces calculs et permet de constater que sauf pour le porc Iota 3 soumis au régime protéoprive et pour le porc Eta 1, les gains réels sont peu différents des gains calculés.

Le dépôt lipidique est lié d'une façon significative à l'EM totale et plus encore à l'EM disponible pour la croissance $r = + 0,97$, $P < 0,01$.

La corrélation entre les glucides ingérés et le dépôt pondéral, toutes données rapportées au poids métabolique, atteint $+ 0,99$ et est hautement significative ($P < 0,01$). La régression linéaire entre ces deux variables : $y = 0,34 x - 5,8$ permet de retrouver un coefficient d'efficacité énergétique du dépôt lipidique (K_l) de 76 p. 100 ce qui implique que cette valeur, égale aux valeurs habituellement trouvées 70-77 pour le dépôt lipidique, correspond essentiellement au coefficient de transformation des glucides en lipides.

Inversement et puisque la concentration en protéines de nos régimes varie en sens inverse de celle en glucides, le dépôt lipidique diminue lorsque l'apport azoté augmente, mais non significativement.

TABLEAU 3

Evaluation des dépôts tissulaires et des gains de poids vif

Animal	EM croissance kcal	Dépôt pondéral de tissu				Gain	
		total g	protéique g	lipidique g	eau + m.m. g	calculé g	observé g
Eta 1	3 710	285	92	193	300	585	360
Theta 3	1 160	89	61	28	199	288	270
Theta 5	3 296	253	133	120	433	686	830
Iota 1	3 264	251	68	183	222	473	420
Iota 2	5 250	404	98	296	320	712	610
Iota 3	5 658	435	— 45	480	— 150	285	130

Relation entre les dépôts lipidiques et les QR.

Les relations précédentes ont pour conséquence des liaisons étroites entre les QR et les dépôts lipidiques. Les coefficients de corrélation entre ces dépôt et les QR post-prandiaux ou les QR de l'extra-chaueur (30-420) sont respectivement de + 0,92 et + 0,91 au seuil de 5 p. 100, résultats qui sont en parfait accord avec les précédents.

Par conséquent, puisque l'augmentation de l'ingestion glucidique privilégie le dépôt lipidique par rapport au dépôt protéique, elle provoque une chute du rapport pondéral dépôt protéique/dépôt lipidique. Cette chute est exponentielle ce qui provoque une décroissance de même type des QR de l'extra chaleur lorsque ce rapport augmente (à la limite de la signification, P < 0,05) (fig. 3).

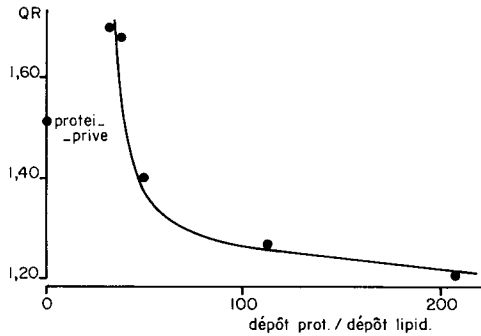


FIG. 3. — Evolution du quotient respiratoire de l'extra-chaueur (30-420) en fonction du rapport dépôt protéique/dépôt lipidique.

Discussion.

L'utilisation des QR non corrigés est évidemment criticable mais la correction l'aurait été aussi puisque nous n'avons pas mesuré l'excrétion urinaire horaire d'azote. Cependant les QR non protéiques sont plus faibles que les QR non corrigés, et ce,

d'autant plus que l'animal élimine plus d'azote urinaire ; aussi la différence entre régimes n'aurait pu que s'accroître. Par contre, la différence entre les jours-repas et les jours-eau aurait été atténuée puisque l'animal élimine progressivement moins d'azote lorsque le jeûne s'accroît.

Les travaux de Cooke *et al.* (1972) qui ont étudié le gain de poids et la composition des carcasses de porcs recevant des régimes apportant de 15 à 30 p. 100 de protéines et abattus à 58 kg, confirment l'importance des dépôts lipidiques que nous avons calculés pour nos animaux. Cette lipogenèse, non négligeable chez les sujets recevant un excès protéique, apparaît en contradiction avec la faible valeur des QR post-prandiaux correspondants (0,85 et 0,87). Cette contradiction explique les difficultés d'interprétation des QR, valeur globale qui somme la totalité des réactions biochimiques ayant lieu à un moment donné dans l'organisme.

Les QR post-prandiaux et surtout ceux d'extra-chaud du porc lota 3 soumis au régime protéoprive sont légèrement plus bas que ceux des animaux recevant des régimes à faible concentration protéique (1,53 contre 1,68 et 1,70). Ce résultat est en accord avec une lipogenèse moins forte que ne le ferait supposer sa richesse en glucides solubles (80 p. 100) : la carence totale de protéines expliquerait que l'animal n'ait pas pu effectuer les synthèses prévues.

Le comportement du porc pourrait expliquer les moments de la lipogenèse et son importance. En effet, les observations de Ruckebusch et Morel (1968) montrent que, chez le porc et dès l'âge de 3 mois, on observe toujours, consécutivement aux repas, de longues phases de décubitus et de sommeil, que son tonus musculaire structural disparaît partiellement lors du décubitus et totalement dès les premières phases de sommeil et que au cours d'un nyctémère, il reste couché 20 h et endormi 13 h.

Conclusions.

Chez le porc en croissance recevant des rations à faible teneur en lipides, l'évolution des QR dans le temps et l'importance des QR de l'extra-chaud (30-420) montrent que la lipogenèse est surtout post-prandiale quelle que soit la concentration protéique du régime ; et ce, malgré des QR postprandiaux nettement inférieurs à 1 (0,85-0,87) lorsque les régimes sont hyperazotés (24 p. 100).

La relation entre les glucides ingérés et le dépôt lipidique permet de calculer une efficacité énergétique de dépôt (k_f) de 76, coefficient classique qui confirme les hypothèses émises. Le comportement du porc expliquerait peut être l'intensité de sa lipogenèse et les moments où elle a lieu.

Réunion Groupe Développement INRA/Productions animales
Thiverval-Grignon, 14-15 avril 1976.

Références

- CHARLET-LERY G., 1975. Dépenses énergétiques prandiales et post-prandiales chez le porc en croissance. Thèse, Paris VI, pp. 129.
- COOKE R., LODGE G. A., LEWIS S., 1972. Influence of energy and protein concentration in the diet on the performance of growing pigs. I. Response to protein intake on a high-energy diet. *Anim. Prod.*, 14, 35-46.

- KIELANOWSKI J., KOTARBINSKA M., 1974. Chemical composition and energy value of the live-weight gain of growing pigs. *6th Symp. Energy Metabolism of Farm Animals*, 165-168.
- RUCKEBUSCH Y., MOREL M. T., 1968. Etude polygraphique du sommeil chez le Porc. *C. R. Soc. Biol., Paris*, **162**, 1346-1354.
- THORBECK G., 1974. Energy metabolism in fasting pigs at different live weight as influenced by temperature. *6th Symp. Energy Metabolism of Farm Animals*, 147-150. EAAP, publ. n° 14, Universität Hohenheim, Stuttgart, B. R. D.
- WIERZUCHOWSKI M., LING S. M., 1925. On fat production in a young hog. *J. biol. Chem.*, **64**, 697-707.
-