

Evacuation gastrique de la matière sèche d'un régime semi-purifié à base d'amidon de maïs chez le porc

J. C. CUBER, J. P. LAPLACE

avec la collaboration technique de C. GERMAIN et A. ROGER

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

Summary. *Gastric emptying of maize starch dry matter in pigs given a semi-purified diet.*

Three 60 kg pigs were fitted with a reentrant fistula of the proximal duodenum. The kinetics of dry matter (DM) gastric emptying were observed during 7-hour periods after a semi-purified meal of 82 p. 100 maize starch was ingested in order to further study starch and nitrogen emptying. Gastric emptying started before the end of the meal with a very rapid phase : 24 ± 8 p. 100 of the DM (880 g meal after 24-hr fasting) left the stomach within 15 min. The stomach then continued to empty regularly at a slow, progressively decreasing rate (45 ± 8 p. 100 of the DM within 2 hrs and 64 ± 3 p. 100 within 7 hrs). The variability of the total amounts emptied, from one test meal to another, in one and the same pig, and between pigs, was lower than 20 p. 100 after 30 min to 1 hr. Increase in the feed intake (880, 1 320 and 1 650 g of DM always after 24 hr fasting) led to a proportional increase in DM emptying during the first 2 hrs only (35.9, 35.0 and 37.6 p. 100, respectively, at $t = 2$ hrs). After that, overall relative emptying was lower, the higher the feed intake (65.3, 56.0 and 49.7 p. 100 at $t = 7$ hrs). It appeared that the proportionality of the weights of DM ingested and collected during the first 2 hours mainly depended on the duration of the initial phase of massive emptying when the intake increased. The ingestion of 440 g of DM, 12 hrs prior to a test meal of 880 g of DM, led to an increase in the DM emptying of the latter. The additional amount emptied was about 68 g of DM in 7 hrs ; emptying occurred mainly between the 30th (+ 10 g) and the 60th min (+ 59 g). The residual amount of DM in the stomach was 36 ± 5 p. 100 after 7 hrs and 20 to 25 p. 100 after 12 hrs for a meal of 880 g of DM. It would be only 15 p. 100 12 hrs after a meal of 440 g of DM.

Pour pouvoir préciser les relations existant entre motricité gastro-intestinale, transit des digesta et absorption des nutriments issus de leur digestion dans l'intestin grêle, il paraît nécessaire d'étudier la cinétique des transformations quantitatives et qualitatives subies par les contenus intestinaux. Leur évolution peut être approchée par comparaison de leur état initial (à la jonction gastro-duodénale) et final (à la jonction iléo cæco-colique). Dans cette perspective a été conduite l'étude de la cinétique d'évacuation gastrique d'un régime semi purifié à base d'amidon de maïs, pour lequel ont été précisément décrites d'une part la motricité de l'intestin grêle (Laplace, 1978) dans lequel s'effectue l'hydrolyse enzymatique de l'amidon, et d'autre part l'absorption des

produits issus de cette hydrolyse (Rérat *et al.*, 1974 ; Rérat, 1975). Nous décrivons dans un premier temps pour ce régime les caractéristiques de l'évacuation des digesta totaux et de la matière sèche, comparativement aux données recueillies au Laboratoire pour des aliments purifiés (Auffray, Martinet et Rérat, 1967 ; Borgida et Laplace, 1977b), semi purifiés (Rérat et Lougnon, 1963) ou complexes (Laplace et Tomassone, 1970), et apportant selon les cas des amidons d'orge, de maïs ou de pomme de terre.

Matériel et méthodes.

Trois porcs de race Large White, d'un poids vif compris entre 55 et 65 kg ont été préparés (fistule réentrante du duodénum proximal) et entretenus en cage selon les modalités décrites par Laplace et Tomassone (1970). Ils ont reçu exclusivement, au cours d'une période préexpérimentale de 8 jours et au cours de la période expérimentale, l'aliment d'épreuve composé de 82 p. 100 d'amidon de maïs, 3 p. 100 de cellulose purifiée et 15 p. 100 d'un complément azoté (Laplace, 1978). Ce régime apporte en moyenne (11 échantillons) $7 \pm 0,06$ p. 100 de protéines (azote mesuré, affecté du coefficient 6,25). Il a été le plus souvent distribué sous forme de soupe (poids de farine fraîche/eau, 1 : 1) une fois par jour à 9 h. Chaque repas d'épreuve est alors précédé d'un « jeûne » de 24 h. Dans un certain nombre de cas, un repas supplémentaire apportant 440 g de matière sèche au total a été fourni à 21 h la veille d'une épreuve de collecte.

Les effluents gastro-duodénaux sont recueillis, échantillonnés et restitués à l'animal selon une procédure semi-automatique (Borgida et Laplace, 1977a) simplifiée (suppression de l'enregistrement-contrôle de la réintroduction) au cours des 7 h postprandiales. Les digesta émis dans un bécher placé à la glace fondante sont collectés par période de 5 mn jusqu'à la quinzième minute, de 15 mn jusqu'à $t = 1$ h, de 30 mn ensuite. Leur poids frais est enregistré et une fraction aliquote de chaque collecte de digesta, soumise à une agitation vigoureuse est prélevée à la pompe. Le reste est restitué à l'animal après réchauffement. L'aliquote pesée est acidifiée à pH 2 avec HCl 6 N (inactivation des amylases salivaire et pancréatique), puis neutralisée avec NaOH-1N, congelée et lyophilisée. La matière sèche est déterminée après 24 h à l'étuve à 104 °C.

Résultats.

1) Repas d'épreuve de 880 g de matière sèche après 24 h de jeûne

Lors de l'ingestion d'un repas d'épreuve de 880 g de matière sèche — soit 1 960 g de soupe fraîche — l'évacuation gastrique débute avant même la fin du repas qui dure en moyenne 5 mn. Elle est à la fois précoce et très rapide durant les 15 premières minutes au cours desquelles 33 ± 10 p. 100 de la matière fraîche ou 24 ± 8 p. 100 de la matière sèche (11 épreuves au total chez 3 porcs) quittent l'estomac. L'évacuation se poursuit ensuite plus lentement par jets intermittents, mais de façon globalement régulière ; ainsi 45 ± 8 p. 100 de la matière sèche sont évacués en 2 h. Les quantités recueillies au total en 7 h représentent pour la matière fraîche (MF) 180 ± 15 p. 100 du poids d'ingéré frais, et pour la matière sèche (MS) 64 ± 3 p. 100 de la matière sèche ingérée.

Cette cinétique est illustrée dans la figure 1 qui met en évidence la bonne répétabilité des évacuations, tant pour plusieurs épreuves réalisées chez le même porc qu'entre porcs sur la base des courbes moyennes de plusieurs épreuves pour chacun. La variabilité (coefficient de variation en p. 100) des quantités émises cumulées pour plusieurs épreuves d'un même porc, le plus souvent comprise entre 15 et 30 p. 100 (MF) ou 20 et 40 p. 100 (MS) durant les 15 premières minutes, décroît ensuite rapidement jusqu'à des valeurs de 14-15 p. 100 au bout de 2 h pour atteindre 6 à 8 p. 100 au bout de 7 h. De même, la variabilité globale (11 essais de 3 porcs), aux temps 30 mn, 2 h et 7 h, est respectivement de 19, 13 et 8 p. 100 pour la matière fraîche, et de 26, 17 et 5 p. 100 pour la matière sèche.

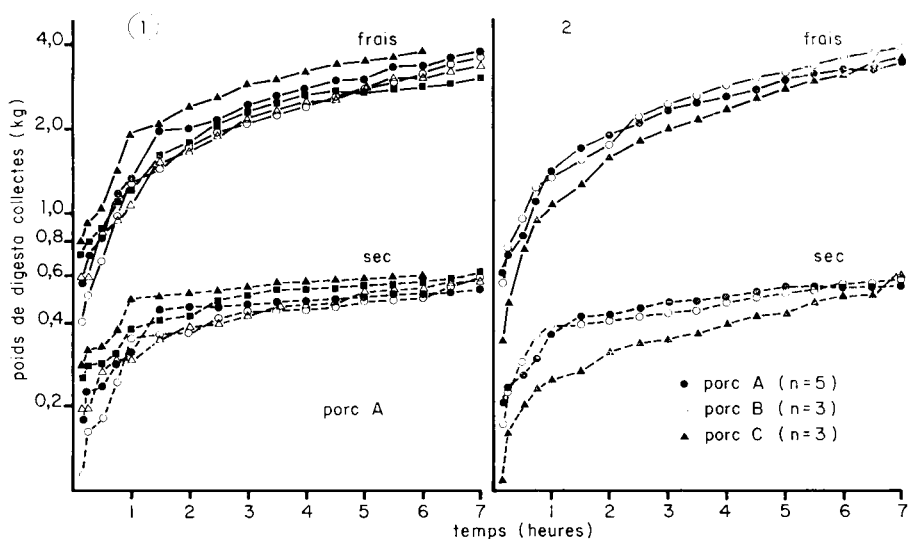


FIG. 1. — Évacuation gastrique de la matière fraîche et de la matière sèche chez le Porc après un repas (1 960 g frais — 880 g sec) à 9 h. A gauche (1) : courbes individuelles de 5 épreuves réalisées chez le même porc A. A droite (2) : courbes moyennes (n = nombres de repas d'épreuve concernés) représentatives de l'évacuation gastrique chez trois porcs A, B et C. Expression en quantités émises cumulées au cours du temps.

2) Influence de la quantité ingérée et de la durée du jeûne préalable

Lorsque la quantité ingérée à l'occasion du repas d'épreuve (après 24 h de jeûne) augmente (fig. 2-1), la quantité de matière fraîche collectée en un temps donné croît également. Cet accroissement n'est cependant jamais proportionnel : ainsi la quantité collectée en 7 h représente un pourcentage décroissant de l'ingéré (181, 139 et 112 p. 100) lorsque celui-ci passe respectivement de 1 960 à 2 940 et 3 920 g de soupe fraîche.

Dans le cas de la matière sèche, la proportionnalité de la quantité évacuée par l'estomac à la quantité ingérée (880, 1 320 ou 1 760 g de MS) lors du repas après 24 h de jeûne est vérifiée (fig. 2-1) durant les 2 premières heures : les pourcentages correspondants sont, par exemple dans le cas de la figure 2-1, et respectivement pour les 3 quantités, 22,2-21,5 et 22 à $t = 30$ mn, et 35,9-35,0 et 37,6 à $t = 2$ h. Ultérieurement,

l'évacuation de la matière sèche est en valeur relative d'autant plus faible que l'ingéré est plus important (65,3-56,0 et 49,7 p. 100 à $t = 7$ h). Cependant, la quantité totale cumulée de matière sèche est, à chacun des temps après le repas, significativement corrélée ($p < 0,05$) à la quantité ingérée.

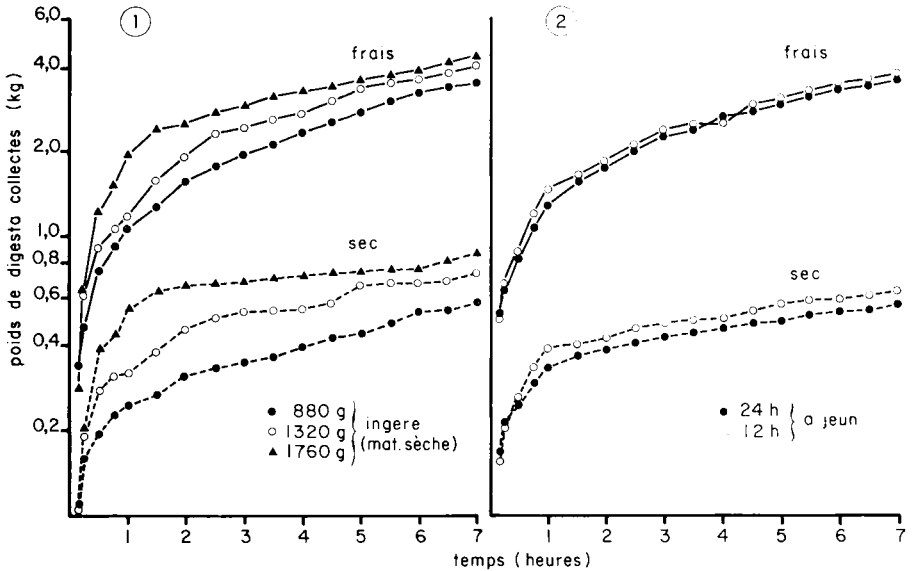


FIG. 2. — Evacuation gastrique de la matière fraîche et de la matière sèche chez le Porc après un repas d'épreuve distribué à 9 h. A gauche (1) : Courbes moyennes représentatives de l'évacuation gastrique chez le même porc C, selon le cas après ingestion d'un repas d'épreuve de 880 (3 essais) — 1 320 (3 essais) — ou 1 760 g (2 essais) de matière sèche. A droite (2) : Courbes moyennes représentatives de l'évacuation gastrique d'un repas d'épreuve de 880 g de matière sèche, selon le cas après 12 h (9 essais de 3 porcs) ou 24 h de jeûne (11 essais de 3 porcs).

La comparaison de l'évacuation d'un même repas d'épreuve (880 g MS-1 960 g MF) selon que l'animal est à jeun depuis 24 h ou a reçu un repas (440 g MS) 12 h seulement avant l'épreuve, est illustrée par la figure 2-2. Pour ces conditions, la cinétique quantitative d'évacuation de la matière fraîche est analogue dans les 2 situations. Dans le cas de la matière sèche, les quantités évacuées par l'estomac au cours des 30 premières minutes sont toujours semblables. Au-delà de 30 mn, l'évacuation du repas d'épreuve s'avère plus importante ($P < 0,05$) après 12 h seulement de jeûne (9 essais) qu'après 24 h de jeûne (11 essais). Cette différence conduit à l'émission supplémentaire de 68 g de matière sèche en 7 h pour une même quantité ingérée lors de l'épreuve.

Discussion.

Les résultats obtenus n'appellent pas de commentaires particuliers quant aux techniques déjà éprouvées de fistulation (Laplace et Tomassone, 1970) et de collecte des digesta (Borgida et Laplace, 1977a). Le mode d'expression par cumul au fil du temps des quantités évacuées, proposé par Laplace et Tomassone (1970) pour l'analyse

des volumes émis, présente les mêmes avantages à l'égard des poids de digesta frais ou secs recueillis : neutralisation rapide des irrégularités apparemment aléatoires liées à la discontinuité du débit gastro-duodéal ; variabilité du phénomène global réduite en-dessous de 20 p. 100 au-delà de 30 mn à 1 h, en dépit de fluctuations importantes des quantités émises dans une même fraction de temps (débits). On note cependant que la variabilité entre porcs est sensiblement plus élevée que la variabilité entre essais chez le même porc. Il semble donc souhaitable que chaque porc soit son propre témoin pour toute étude comparative.

La courbe décrivant l'évacuation gastrique sur la base des poids frais est analogue à celle établie sur la base des volumes de digesta (Laplace et Tomassone, 1970) et pourrait être justiciable du même modèle polynomial. La quantité de matière fraîche collectée en 7 h par rapport à celle ingérée — 180 ± 15 p. 100 en poids — peut être confrontée aux valeurs obtenues dans d'autres conditions : 200 p. 100 en volumes sur 7 h pour un aliment purifié (Auffray, Martinet et Rérat, 1967) ; 300 p. 100 en volumes sur 6 h pour un aliment complexe à base d'orge (Laplace et Tomassone, 1970) ; 250 p. 100 en volumes sur 6 h pour un aliment complexe à base de maïs (Holmes, Bailey et Horney, 1974) ; 279 p. 100 en poids sur 6 h pour un aliment complexe orge-blé-maïs (Cuperlovic, Hristic et Zebrowska, 1975) ; 216 p. 100 pour un régime commercial, 254 p. 100 pour un régime semi-purifié et 157 p. 100 pour un régime protéoprive, sur la base des poids frais en 8 h (Zebrowska *et al.*, 1975) ; 154 à 167 p. 100 en volumes sur 7 h pour un aliment purifié à base d'amidon de pomme de terre (Borgida et Laplace, 1977b). Il paraît ainsi vraisemblable que ces quantités de digesta frais, tout en étant corrélées au volume de l'ingéré frais (Borgida et Laplace, 1977b), varient largement selon les caractéristiques physiques et chimiques du régime.

En ce qui concerne la matière sèche, notons au plan méthodologique la bonne coïncidence entre la cinétique observée par la technique des abattages (Rérat et Loughnon, 1963) et celle obtenue par fistulation : 45 p. 100 de la matière sèche ingérée est évacuée dans les 2 premières heures. Sur la base de la matière sèche, l'émission des digesta apparaît très précoce et peut être considérée comme biphasique dans la mesure où se succèdent nettement deux périodes différant par l'importance du débit gastro-duodéal. La première période, d'intense évacuation, est brève. Sa durée croît lorsqu'augmente la quantité ingérée. Elle dure 15 mn pour l'évacuation du quart de la matière sèche d'un repas de 880 g (MS). Elle dure approximativement deux fois plus longtemps pour évacuer une proportion analogue d'un repas deux fois plus important. Il semble donc que ce soit par la variation de la durée de la phase initiale d'évacuation massive qu'est assurée la proportionnalité des poids de matière sèche ingérée et collectée au cours des deux premières heures.

La seconde période d'évacuation se déroule à un rythme beaucoup plus lent. Pour un même niveau d'ingestion, la proportion de matière sèche évacuée par l'estomac varie très largement selon la nature de l'aliment, de 56 p. 100 en 8 h pour un régime à base de fécule crue de pomme de terre (Borgida et Laplace, 1977b) à 90 p. 100 en 8 h pour un régime commercial à base d'orge (Zebrowska *et al.*, 1975), contre 64 p. 100 en 7 h dans notre cas. Ces différences d'évacuation de la matière sèche montrent l'étendue des variations liées à la composition de l'aliment.

La quantité résiduelle de matière sèche dans l'estomac représente, 7 h après le repas, 36 ± 5 p. 100 de l'ingéré sec dans nos conditions, pour un repas de 880 g (MS)

après 24 h de jeûne. Il est donc permis d'estimer cette quantité résiduelle après 12 h, compte tenu de la régularité de décroissance du débit gastro-duodéal et de la continuité de la seconde période d'évacuation : 20 p. 100 de la matière sèche sont évacués entre la 2^e et 7^e heure (45 à 65 p. 100 au total) ; si l'on admet l'évacuation de 10 à 15 p. 100 supplémentaires entre la 7^e et la 12^e heure, il resterait dans l'estomac après 12 h environ 20 à 25 p. 100 de la matière sèche ingérée (880 MS). Cette estimation concorde avec l'observation réalisée lors d'une expérience de contrôle au cours de laquelle la mesure des effluents gastro-duodénaux a été effectuée pendant 24 h consécutives après ingestion de 880 g (MS) : 74,4 p. 100 de MS sont évacués en 12 h. La quantité résiduelle est, compte tenu des relations observées, nécessairement inférieure pour un repas de 440 g de MS. Il reste néanmoins difficile de l'estimer. En effet, lors du repas du soir de 440 g MS, il devrait encore rester 25 p. 100 des 880 g du repas du matin, soit 220 g. Ce sont donc 660 g de MS qui seraient présents dans l'estomac à la suite du repas du soir. Ainsi les 68 g supplémentaires de matière sèche, collectés en 7 h à la suite du repas d'épreuve intervenant 12 h après le repas intermédiaire de 440 g, représentent environ 15 p. 100 de la MS de ce repas préalable, et environ 10 p. 100 de la quantité estimée de matière sèche présente dans l'estomac après ce même repas préalable. En dépit des approximations, il reste certain que le résidu gastrique, 12 h après un repas, est d'autant plus faible que la quantité ingérée a été moindre.

Cela étant, tout se passe comme si l'évacuation initiale rapide du repas d'épreuve entraînait le reliquat du repas antérieur. Si l'on examine la courbe d'évacuation pour les repas après 12 h de jeûne, on remarque que cette quantité supplémentaire, qui peut être considérée comme l'évacuation additionnelle de tout ou partie du reliquat du repas antérieur, est « ajoutée » entre la 30^e et la 60^e mn (+ 10 g à 30 mn, + 41 g à 45 mn, et + 59 g à 60 mn) après le début du repas d'épreuve.

Conclusion.

L'étude de l'évacuation gastrique de la matière sèche d'un repas d'épreuve à base d'amidon de maïs chez le porc, indépendamment des aspects descriptifs caractéristiques de la composition du régime, met en évidence : 1) que l'augmentation de la quantité ingérée conduit à un accroissement proportionnel de la quantité évacuée par l'estomac durant 2 h seulement ; 2) que cet accroissement est réalisé par prolongation de 15 à 30 mn de la durée de la phase initiale d'évacuation rapide ; 3) que lors d'un repas d'épreuve survenant avant achèvement de l'évacuation du repas antérieur, le reliquat gastrique de ce dernier est évacué en sus entre la 30^e et la 60^e mn après le début du repas d'épreuve.

Commission CNERNA Digestion-Absorption/Association des Physiologistes, Paris 5-6 octobre 1978.

Références

- AUFFRAY P., MARTINET J., RÉRAT A., 1967. Quelques aspects du transit gastro-intestinal chez le porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **7**, 261-279.
- BORGIDA L. P., LAPLACE J. P., 1977a. Collecte totale des contenus intestinaux chez le porc. Automatisation de l'échantillonnage et de la restitution à l'animal pour une étude cinétique de la digestion. *Ann. Zootech.* **26**, 395-411.

- BORGIDA L. P., LAPLACE J. P., 1977b. Evacuation gastrique comparée de régimes à base de féculé de pomme de terre crue ou extrudée chez le porc en croissance. *Ann. Zootech.*, **26**, 585-593.
- CUPERLOVIC M., HRISTIC V., ZEBROWSKA T., 1975. Influence of the composition of the dietary protein supplement on the digestion and absorption of protein in the small intestine of pigs. *Acta Vet. (Beograd)*, **25**, 287-300.
- HOLMES J. H. G., BAILEY H. S., HORNEY F. D., 1974. Digestion of dry and high moisture maize diets in the stomach of the pig. *Br. J. Nutr.*, **32**, 639-646.
- LAPLACE J. P., 1978. Organisation de la motricité de l'intestin grêle chez le porc et influence de l'alimentation. *Ann. Zootech.*, **27**, 377-408.
- LAPLACE J. P., TOMASSONE R., 1970. Evacuation gastro-duodénale chez le porc. Fistulation chronique par voie thoracique extra pleurale ; recherche d'une technique d'analyse mathématique de l'évacuation. *Ann. Zootech.*, **19**, 303-332.
- RÉRAT A., 1975. Mesure quantitative *in vivo* de l'absorption chez le porc. Application aux sucres et aux acides aminés 47-62. In *Réanimation entérale à faible débit continu*, Coll. INSERM n° 53. INSERM éd. Paris.
- RÉRAT A., AUMAITRE A., VAISSADE P., VAUGELADE P., 1974. Mesure de l'absorption de glucides au cours de la digestion de l'amidon de maïs chez le porc. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. D*, **279**, 831-834.
- RÉRAT A., LOUGNON J., 1963. Etudes sur le transit digestif chez le porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, (N° hors série), 21-27.
- ZEBROWSKA T., BURACZEWSKA L., BURACZEWSKI S., HORSZCZARUK F., 1975. Digestion and absorption in the small intestine of pigs. 1) Digestion and absorption of dry matter and nitrogen. *Rocz. Nauk. Roln.*, **96B**, 79-90.
-