ÉVACUATION GASTRO-DUODÉNALE CHEZ LE PORC

FISTULATION CHRONIQUE PAR VOIE THORACIQUE EXTRA-PLEURALE ;
RECHERCHE D'UNE TECHNIQUE D'ANALYSE MATHÉMATIQUE
DE L'ÉVACUATION

J.-P. LAPLACE et R. TOMASSONE

avec la collaboration technique de B. ARBELBIDE et C. GERMAIN

*Station de Recherches sur l'Élevage des Porcs,
Laboratoire de Biométrie,
Centre national de Recherches zootechniques, 78 - Jouy-en-Josas
Institut national de la Recherche agronomique*

RÉSUMÉ

L'étude de l'évacuation gastro-duodénale a été poursuivie sur des porcs de race *Large White* de 70 à 80 kg. Pour cela, a été mise au point une technique originale de fistulation chronique du duodénum chez le Porc par voie transthoracique extra pleurale. Un nouveau modèle de canules a été spécialement conçu. La description quantitative des résultats ainsi obtenus est apportée dans le cas d'un régime standard à base d'orge pour le porc en finition. L'étude expérimentale porte sur trois durées d'enregistrement et sur trois horaires de repas distincts. L'analyse qualitative des résultats est ensuite tentée par le calcul sur ordinateur, d'une part au moyen de la régression progressive multiple dans le but de définir un éventuel modèle simple, d'autre part au moyen de la régression polynomiale afin de déterminer l'équation de la courbe la plus proche possible de la courbe observée. Les résultats recueillis permettent de choisir pour son efficacité la technique originale d'exploitation qualitative de l'évacuation gastrique par analyse de variance portant sur les coefficients polynomiaux. La signification physiologique de ces coefficients de régression est discutée.

INTRODUCTION

La mesure du transit des ingesta chez l'animal a fait appel à de multiples techniques destinées, les unes à évaluer la durée du transit, les autres à déterminer le volume de matériaux qui s'écoule en un point déterminé. En ce qui concerne l'évaluation du *temps de rétention* (partiel ou global) dans le tube digestif, on a recours à l'utilisation de substances dites de référence. Elles peuvent constituer une petite fraction de la phase liquide ou de la phase solide de la ration, et sont alors récupérées

en un point quelconque du tube digestif. Elles peuvent aussi être ajoutées directement aux ingesta et récoltées plus en aval. La mesure des temps de rétention partiels nécessite donc des voies d'accès appropriées à chacun des secteurs digestifs considérés. L'usage de telles substances reste précieux comme critère de référence pour l'estimation de paramètres d'absorption (KIDDER *et al.*, 1968) ou de digestibilité (ISHIKAWA et FURUICHI, 1968) ; mais sa validité est contestée pour des périodes de collecte brèves (MAC RAE et ARMSTRONG, 1969) ou sur un segment très limité du tube digestif. La mesure directe du débit des matériaux alimentaires apporte des informations généralement plus nombreuses, mais toujours plus précises sur les modalités du transit digestif. Les exigences de la technique rendent plus nécessaire encore une voie d'accès artificielle au canal digestif, répondant à des critères de discrétion (non perturbation des mécanismes physiologiques), d'innocuité, de tolérance et de commodité expérimentales.

La mesure du débit par écoulement du *contenu digestif* au niveau d'une canule fait appel à la technique de fistulation ré-entrante du type Crocker-Markowitz (double fistule de Pavlov) seule rigoureuse du fait de la section de l'intestin entre les deux canules. Dans ce cas, la restitution des ingesta à un rythme rigoureusement identique à celui de leur dérivation assure partiellement l'obtention de valeurs physiologiques. Cette technique plus spécialement adaptée au mouton par ASH (1962) pour la jonction gastro-duodénale a pu être, dans cette espèce, utilisée à tous les étages de l'intestin grêle : iléon (GOODALL et KAY, 1962) jéjunum (ASH et SCOTT *in* ASH, 1962). Elle reste également valable chez le veau pour le même usage, voire pour l'entretien d'anses intestinales isolées dans l'intervalle des périodes expérimentales (NIELSEN, 1965). Chez le Porc, la réalisation de telles préparations reste d'une façon générale souvent compromise par les habitudes de grattage, difficiles à arrêter chez des sujets indociles, et par l'adoption fréquente et prolongée du décubitus latéral complet. Cependant, la technique classique de transsection de l'intestin combinée à l'usage de canules analogues aux canules de ASH, a donné d'excellents résultats au niveau de l'iléon (CUNNINGHAM *et al.*, 1962) ou du jéjunum (NOAKES *et al.*, 1967). La réalisation de telles fistules ré-entrantes est beaucoup plus délicate dans le cas du duodénum, en raison de l'extrême sensibilité de ce viscère, de sa brièveté et de son enfouissement sous le volet costal. Si l'utilisation des canules d'ASH, mises en place par voie abdominale sous-costale, permet d'obtenir des préparations correctes pendant un délai qui peut atteindre 2 mois (AUFFRAY *et al.*, 1967), seul un nombre restreint d'animaux ainsi équipés (1 sur 3 ou 4) est effectivement utilisable pour l'étude de l'évacuation gastrique.

Nous avons donc recherché une technique particulièrement adaptée au Porc et répondant aux exigences parfois contradictoires suivantes :

- dériver les ingesta le plus près possible du pylore,
- éviter absolument la zone d'abouchement du canal pancréatique,
- éviter toute traction sur le méso-duodénum,
- maintenir correctement l'intestin en l'absence quasi complète de toute partie de la canule dans la lumière intestinale,
- assurer une fixation transpariétale solide des canules en l'absence de points d'ancrage perforants,
- choisir un matériau parfaitement inerte vis-à-vis de l'organisme,

- ajuster exactement la dimension de la canule à l'épaisseur de la paroi musculocutanée, et réduire au minimum la saillie du pontage extérieur.

Notre préoccupation répond en définitive aux objectifs appliqués d'une telle étude. En effet, la recherche d'une optimisation économique de la croissance des animaux passe non seulement par l'étude de la composition de la ration et de son prix de revient, mais encore par la connaissance de son comportement dans le tube digestif et de son efficacité physiologique en relation avec la croissance et la consommation de l'animal. Les éléments motivés autres que ceux de commodité de distribution sont encore inexistantes chez le Porc. Sur un plan plus élaboré, la vitesse du transit et le temps de séjour des matériaux alimentaires dans le tube digestif constituent un élément important dans les études d'absorption, et par-là une donnée fondamentale de compréhension de la nutrition du Porc. Ceci a conduit d'une part à déterminer les caractéristiques du phénomène et à l'exprimer, si possible, sous la forme d'une régression linéaire caractérisant une relation simple. A côté de ce « modèle », il convient d'autre part de mettre au point une technique d'analyse de routine permettant des comparaisons valables entre diverses modalités de présentation ou diverses compositions de la ration. Les seuls éléments de comparaison dont nous disposons pour cette étude sont les tentatives dans ce sens poursuivies chez l'Homme et chez le Rat. On sait ainsi que le modèle exponentiel décrit dans l'espèce humaine par HUNT et SPURRELL (1951) ne convient qu'imparfaitement (HUNT et MAC DONALD, 1954) et qu'un ajustement linéaire (racine carrée du volume/temps) lui est préférable (HOPKINS, 1966) ; chez le Rat SIKOV *et al.* (1969) constatent une relation exprimée par une courbe logarithmique entre la vitesse du transit dans l'intestin grêle et la distance parcourue par un marqueur.

Le présent travail apporte la description des canules réalisées, de la technique opératoire choisie et des observations recueillies, puis les résultats de l'analyse mathématique sous ses deux aspects : définition d'un modèle et exploitation technique.

TECHNIQUES

Ces recherches ont été effectuées sur 19 animaux de race *Large White* pesant entre 70 et 80 kg. Trois d'entre eux ont été préparés selon la technique classique de ASH par voie abdominale, à titre d'élément de comparaison. Quatre ont subi une préparation intermédiaire (canules modifiées et voie abdominale) dont le détail ne sera pas explicité. Douze sujets ont été équipés selon la nouvelle technique décrite ci-après.

A. — Confection des canules

Celles-ci sont réalisées à partir d'un tube de silicone médical ⁽¹⁾ de fort calibre (diamètre intérieur 12,7 mm, extérieur 18 mm). Destinées à être mises en place en bout d'intestin et non perpendiculairement à l'axe de la lumière intestinale, elles ne comportent pour toute embase qu'une mince collerette de 2,6 mm de largeur pour 4 mm de haut.

Le diamètre de la partie endo-luminale de la canule est ainsi identique à celui de la lumière intestinale. Le corps de la canule forme un angle droit dont la partie perpendiculaire à la surface cutanée mesure 7,5 cm pour un animal de 75 kg. La longueur de la partie parallèle à la surface cutanée est ajustée après la mise en place des canules en fonction de leur écartement. A 2,5 cm de la collerette de base, sont fixées deux ailettes de 2 × 2 cm, diamétralement opposées par

⁽¹⁾ Scursil, Rhône-Poulenc (Dépt Génie médical), 75 - Paris (8^e).
Silastic, Dow Corning Corp. Midland, U. S. A. 48640.

rapport au tube central, et qui, incluses entre les plans musculaires de la paroi musculo-cutanée, évitent tout déplacement ou rotation de la canule (fig. 1).

Dans deux cas, les ailettes latérales et la partie perpendiculaire à la surface cutanée ont été habillées d'un tissu à usage médical ⁽¹⁾ fixé sur le corps de la canule au moyen d'un élastomère de silicone.

FIG. 1. — Aspects photographiques de la technique de fistulisation par voie transthoracique extra-pleurale

1. Canules en silicone médical.
2. Canules en silicone habillé de tissu.
3. Canules en place en fin d'opération (le trait noir souligne le cercle de l'hypochondre).
4. Animal fistulé, au 15^e jour d'utilisation.

B. — Mise en place des canules

1. Anesthésie.

Après un jeûne de 24 à 36 heures, et occasionnellement une prémédication pour les sujets les plus excités avec du Vétranquil ⁽²⁾ (maléate d'acépromazine 0,8 mg/IM), les animaux reçoivent une injection endoveineuse rapide d'un mélange de Nembutal ⁽³⁾ (éthyl-méthyl-butyl-barbiturate de sodium) Nesdonal ⁽⁴⁾ (éthyl-méthyl-butyl-thiobarbiturate de sodium) et atropine, dans les proportions suivantes :

Nembutal	5 ml (solution à 6,5 p. 100)
Nesdonal	1 g
Atropine (sulfate)	2 ml (solution à 2 p. 100)
Eau distillée q. s. p.	50 ml

L'anesthésie est ensuite entretenue au masque à l'aide d'un mélange gazeux (oxygène-protoxyde d'azote) barbotant à la demande dans du Penthrane ⁽⁵⁾ (méthoxiflurane).

⁽¹⁾ Rhodergon (feutre), Rhône-Poulenc (Dépt Génie médical) 75 - Paris (8°).

⁽²⁾ Vétranquil, Lab. Clin. par Lathevet, 75 - Paris (5°).

⁽³⁾ Nembutal, Lab. Abbott, par Lathevet, 75 - Paris (5°).

⁽⁴⁾ Nesdonal, Lab. Specia, 75 - Paris (8°).

⁽⁵⁾ Penthrane, Lab. Abbott, 28 - Saint-Rémy-sur-Avre, France.

2. Technique opératoire.

La peau est incisée sur 16 cm de long, du côté droit, perpendiculairement au rachis. L'incision débute à environ 10 cm du plan de symétrie et longe la 3^e côte (numérotation rétrograde). Les couches musculaires sont ouvertes par dissociation.

On pratique une résection sous-périostée aussi haut que possible des deux avant-dernières côtes. L'ablation inclut le cartilage costo-chondral correspondant. La cavité abdominale est ouverte dans l'axe de la plaie opératoire, en débridant l'adossement pleuro-diaphragmatique. Cette incision ne doit pas être poursuivie au-delà d'un point correspondant à la jonction du tiers moyen et du tiers supérieur des côtes pour éviter une éventuelle atteinte du sinus costo-diaphragmatique. Cette voie donne accès directement à la portion du duodénum comprise entre l'abouchement du canal de Wirsung et celui du canal cholédoque, voire même, chez 2 sujets sur 12, au pylore.

FIG. 2. — Représentation demi-schématique du bloc duodéno-pancréatique d'un animal fistulé par voie transthoracique extra-pleurale

1. Zone d'inoculation des territoires vasculaires coliaque et mésentérique (interrompue par la brèche mésentérique). — 2. Côtes sectionnées. — 3. Zone d'abouchement du canal de Wirsung. — 4. Angle de Treitz

Le duodénum est sectionné perpendiculairement à l'axe de la lumière intestinale, au centre de l'arc décrit à ce niveau par le pancréas (fig. 2). Les canules sont introduites dans la lumière duodénale et chaque about intestinal fermé en bourse sur la collerette par trois surjets enfouissants successifs (soie n° 0) dont la réalisation est rendue délicate par le pédicule mésentérique.

Chaque canule est passée au travers d'une boutonnière dans le péritoine pariétal, de part et d'autre de l'incision péritonéale. Le péritoine est alors solidarisé à l'about intestinal par 2 points de soie 0 et la boutonnière est étroitement refermée par une bourse péritonéale. On assure ensuite le franchissement de la paroi musculo-cutanée pour chaque canule, de part et d'autre de la plaie opératoire.

La brèche péritonéale est fermée au lin n° 00, la paroi musculaire réparée au catgut n° 0, enfermant les ailettes de la canule entre les muscles intercostaux et sus-costaux, la peau enfin au lin n° 1 en points simples. Un pont transparent réunit alors les deux canules, une compresse de gaze étant glissée dessous pour protéger la plaie opératoire.

La durée totale de l'intervention est de 90 à 120 mn. Les soins postopératoires comportent l'administration de didromycine et de bipénicilline pendant 8 jours à raison respectivement de 1 g et 1 million d'unités par jour les 3 premiers jours, puis tous les 2 jours. Les animaux sont progressivement réalimentés au-delà de 24 heures après l'opération.

Les points cutanés sont ôtés le 7^e jour et la phase critique de démangeaison vers le 8^e jour évitée par application locale d'une crème pommade à base de corticoïdes et néomycine ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Locacortene, Lab. Ciba, 75 - Paris (7^e).

C. — *Technique expérimentale*

Les animaux sont maintenus dans des cages analogues à des cages à métabolisme (115 × 50 cm) dans lesquelles ils sont installés une semaine au moins avant l'opération. La ration quotidienne est distribuée en 3 repas à 7 h 30, 14 heures et 17 heures. Cet horaire est choisi d'une part de façon à dissocier l'horaire de repas des sujets expérimentaux de celui des autres animaux du bâtiment et éviter ainsi les réactions en chaîne bien avant le repas, d'autre part dans le but d'obtenir trois types d'épreuves différant nettement par l'intervalle de temps écoulé depuis le repas précédent.

L'aliment utilisé est du type « finition » défini par la composition centésimale suivante :

Orge	66,5
Remoulage gris	15
Tourteau de soja (à 50 p. 100)	12
Minéraux ⁽¹⁾	2,5
Vitamines ⁽²⁾	4

La mouture de la farine est celle obtenue au broyeur pour une grille de 3 mm. La teneur moyenne en matière sèche de 78,8 p. 100. Cet aliment est distribué dans tous les cas sous forme de soupe liquide (rapport pondéral = farine 1/eau 3). La teneur en matière sèche de l'aliment distribué sous cette forme est de 22,2 p. 100. Compte tenu de la dilution indiquée de la farine, une ration de 400 g représente un volume de 1 500 ml ; une ration de 500 g : 1 870 ml et une ration de 600 g : 2 240 ml.

L'enregistrement est effectué pendant un temps variable après le début du repas (30 mn à 7 h 50 maximum). La collecte des effluents gastriques pour l'un ou l'autre des repas, voire pour plusieurs repas consécutivement, s'effectue dans une éprouvette graduée. Chaque émission recueillie est aussitôt réintroduite dans l'intestin au travers d'un manchon à circulation d'eau chaude thermostatée (39°5, C). Le rythme de réintroduction des digesta est donc rigoureusement calqué sur le débit spontané pour limiter les perturbations expérimentales. Les volumes récoltés sont, soit totalisés par fraction de 2 ou 10 minutes, soit, après totalisation, cumulés de 2 en 2 ou de 10 en 10 minutes.

D. — *Exploitation mathématique*

Cette analyse n'a été volontairement effectuée que pour les données recueillies chez trois animaux. Le choix de ceux-ci répond exclusivement à un critère chirurgical. Ce sont les trois sujets pour lesquels la technique opératoire précitée a été le plus parfaitement réussie. Cette limitation est motivée par l'importance du temps nécessaire pour la mise en œuvre du calcul sur ordinateur et pour l'exploitation des résultats.

Le mode d'expression en volumes cumulés a été conservé : en effet, le volume total évacué constitue le complément du volume total restant dans l'estomac, mode d'expression utilisé chez l'homme.

L'ajustement des données recueillies à un modèle mathématique aussi simple que possible a tout d'abord été recherché. Les différents modèles testés sont les suivants :

$$\begin{aligned}
 Y &= \text{fonction de } x, x^2, x^3 \\
 \log Y &= \text{fonction de } x, x^2, x^3 \\
 \log Y &= \text{fonction de } \log x, (\log x)^2, (\log x)^3 \\
 Y &= \text{fonction de } \log x, (\log x)^2, (\log x)^3 \\
 Y &= \text{fonction à la fois de } \log x \text{ et de } x
 \end{aligned}$$

dans lesquels Y représente le volume cumulé, exprimé en ml, et x le temps exprimé en mn.

Pour cela, a été utilisée la régression multiple progressive de la variable expliquée (Y ou $\log Y$) en fonction de plusieurs variables explicatives, en l'occurrence les puissances de la variable explicative (x ou $\log x$) considérées comme variables indépendantes. Ces variables sont introduites une à une dans le calcul, dans l'ordre d'importance de la part de variation expliquée, définie à partir du calcul des coefficients de corrélation totale (DRAPER et SMITH, 1966).

⁽¹⁾ *Mélange minéral (en p. 100)* : phosphate bicalcique, 20 ; craie broyée, 50 ; sel marin, 20 ; carbonate de magnésium léger, 7,73 ; sulfate ferreux 7 H₂O, 1,00 ; sulfate de manganèse H₂O, 0,60 ; sulfate de cuivre 5 H₂O, 0,15 ; sulfate de zinc, 0,50 ; sulfate de cobalt 7 H₂O, 0,01 ; iodure de potassium, 0,01.

⁽²⁾ *Mélange vitaminique (quantités par kg de régime)* : vit. A, 4 000 UI ; vit. D₃, 1 000 UI ; riboflavine, 2 mg ; pantothénate de Ca, 5 mg ; acide nicotinique, 10 mg ; choline, 100 mg ; vit. B₁₂, 0,01 mg.

De façon totalement indépendante, on a recherché la fonction polynomiale répondant à une courbe passant au mieux par les valeurs observées, et donnant la description la plus proche de la réalité du phénomène. On calcule, pour chaque essai, l'équation de régression polynomiale de la variable expliquée Y (volume cumulé) en fonction des puissances *successives* de la variable explicative x (temps) c'est-à-dire que l'on recherche le meilleur ajustement de la courbe définie par les valeurs observées, et d'une courbe représentative simulante une fonction du temps, définie par un polynôme du type $Y = b_0 + b_1x + \dots b_nx^n$. On détermine donc les coefficients de régression des puissances successives de x . L'ajustement entre courbe observée et courbe calculée, est interrompu lorsqu'il n'y a plus d'amélioration en termes de sommes des carrés, c'est-à-dire lorsque la somme des carrés des écarts entre les valeurs observée et calculée est minimum.

Dans un second temps, les coefficients de régression des polynômes obtenus pour les différents essais ont été soumis à une analyse de variance. Les effets testés concernent les différences éventuelles entre porcs, entre essais, entre durées d'enregistrement et entre horaires de distribution des repas (c'est-à-dire entre degrés de réplétion gastrique résiduelle). Enfin, l'analyse de variance a porté sur les coordonnées des points d'inflexion de la courbe (préalablement générés par le calcul).

L'ensemble de ces calculs a été effectué dans trois cadres de durée distincts :

- période de 30 mn après le début du repas (cumul des volumes de 2 en 2 mn).
- période de 120 mn après le début du repas (cumul des volumes de 2 en 2 mn).
- période de 320 mn après le début du repas (cumul des volumes de 10 en 10 mn).

Parallèlement aux données correspondant aux différents essais pour chacun des trois horaires de distribution et chacun des trois porcs, la seconde partie des calculs (régression polynomiale) a également été effectuée sur la moyenne des différents essais pour un porc à un horaire donné, et sur les moyennes groupées suivantes :

- pour chaque porc, moyenne générale aux trois horaires de distribution ;
- pour chaque horaire de distribution, moyenne des essais chez les trois porcs pour cet horaire.
- moyenne générale de tous les essais effectués aux 3 horaires chez les 3 porcs.

RÉSULTATS

A. — Observations cliniques et nécropsiques

A l'exception d'un animal ayant présenté une légère hyperthermie passagère (39°7, durant 24 h) tous les sujets opérés selon la technique décrite ont présenté une courbe normothermique. La récupération de l'appétit normal, avec retour au niveau d'ingestion pré-opératoire est obtenue dès le 4^e jour. La vitesse d'ingestion d'un repas est également normale (4 ou 5 mn selon les individus). Les contrôles *post mortem* effectués sur tous les sujets n'ont permis d'observer aucune lésion d'ulcération gastrique ou duodénale. Dans tous les cas l'aspect macroscopique de même que la topographie du duodénum et du pancréas sont absolument normaux (fig. 2). Enfin, on ne relève aucune adhérence anormale des viscères avoisinants. Seuls les abouts intestinaux sont localement soudés au péritoine pariétal.

La vie expérimentale des sujets ainsi préparés (fig. 1) n'est jamais supérieure à celle obtenue dans les meilleurs cas par l'utilisation de la technique de ASH transposée au Porc (AUFFRAY *et al.*, 1967). Cependant tous les animaux jusqu'ici opérés et expérimentés se sont révélés utilisables dans de bonnes conditions. Le problème lié à l'apparition de fuites, reste le même pour les deux techniques et paraît lié à l'infiltration progressive d'un chyme acide et protéolytique dont l'action paraît difficile à enrayer. L'explication de cette défaillance tient à un défaut d'adhérence des tissus sur le matériau de la canule, soit par rejet en cas d'usage d'un chlorure de polyvinyle, soit

par défaut d'adhésion dans le cas présent d'utilisation d'un matériau bien toléré mais d'une excessive pureté. L'habillage des canules avec un tissu à usage médical a nettement amélioré la vie expérimentale des 2 sujets pour lesquels il a été utilisé. L'entretien d'animaux ainsi préparés ne nécessite pas de surveillance spéciale, et leur durée d'utilisation a été accrue (2 à 2 mois et demi d'utilisation expérimentale en l'absence complète de fuite). Quoi qu'il en soit, le plein succès de la technique semble principalement conditionné par la perfection chirurgicale de l'enfouissement de l'about intestinal sur la canule, temps opératoire délicat en raison du pédicule mésentérique.

B. — Résultats expérimentaux

Ceux-ci concernent exclusivement, sauf mention spéciale, des animaux préparés selon la nouvelle technique proposée.

1. Aspect général de la courbe de transit.

L'allure générale de l'évacuation gastrique, telle qu'elle apparaît à l'enregistrement du volume effluent par fraction de 2 mn, au cours d'une longue période, est apportée par la figure 3. On remarque d'emblée l'extrême irrégularité apparente du phénomène. L'évacuation s'effectue en effet par jets successifs dont le volume et la chronologie ne répondent à aucun rythme apparent. Le nombre de jets par fraction de 2 mn est en moyenne de $5,36 \pm 0,30$ au cours de la première heure, et de $4,65 \pm 0,25$ au cours des deux premières heures dans le cas présenté dans la figure 3. Les valeurs extrêmes observées sont 0 à 9 jets par fraction de 2 mn. Le volume de chacun est également irrégulier : 0 à 40 ml, exceptionnellement jusqu'à 120 ml par jet immédiatement après le repas. Le principal caractère de l'évacuation gastrique est donc la discontinuité de l'émission des bols alimentaires. Cette discontinuité n'est qu'exceptionnellement en défaut : ainsi lors d'abreuvement (fig. 3) l'ingestion rapide de 500 ml d'eau est suivie de l'émission continue en l'espace de 5 mn de 370 ml de liquide au niveau de la fistule duodénale haute.

Face à cette irrégularité, la totalisation des volumes effluents par fraction de 10 mn (fig. 4) apporte une simplification, où transparaissent néanmoins des fluctuations de caractère apparemment aléatoire. Ce mode d'expression permet cependant d'observer la décroissance progressive du volume émis par unité de temps. L'expression des résultats en volumes recueillis, cumulés de 10 en 10 mn (fig. 4) permet d'écraser les différences et d'obtenir une courbe croissante beaucoup plus aisément analysable. Dans ce sens, le cumul des volumes recueillis est également efficace de 2 en 2 mn (fig. 5). Dans ce cas, le coefficient de variation pour la moyenne de 11 essais, élevé pour les valeurs obtenues au cours des premières minutes consécutives au repas, n'est ensuite qu'au plus de 12 p. 100, et décroît progressivement avec le temps.

Précisons enfin que les volumes recueillis en 6 heures représentent environ 3 fois le volume du repas ingéré et que l'évacuation gastrique paraît complète pour un volume recueilli équivalent à 3,2 fois le volume ingéré.

2. Influence de la technique chirurgicale.

Les animaux équipés de canules du type de celles de ASH présentent toujours une réponse biphasique : la phase initiale très rapide débute avant la fin du repas

FIG. 3. — Évolution du volume émis par fraction de 2 mn, au cours de 7 heures consécutives après un repas (a) de 600 g distribué à 7 h 30, et des premiers instants qui suivent un second repas de même volume (a). En (b) noter l'effet d'un abreuvement de 500 ml

FIG. 4. — Débit duodénal type chez un animal fistulé par voie transthoracique extra-pleurale, pour une ration de 600 g distribuée à 7 h 30. Comparaison des deux modes d'expression : volume émis par fraction de 10 mn (colonnes), volume émis cumulé de 10 en 10 mn (points)

FIG. 5. — Évolution du volume émis cumulé de 2 en 2 mn, par rapport au temps, chez le porc 81919 : Moyenne de 11 essais lors de repas de 600 g distribués à 14 heures, avec écarts-types correspondants

avec émission d'un volume susceptible d'atteindre 40 p. 100 du volume ingéré (voir fig. 6). Une période de silence d'une durée moyenne de 15 mn précède la seconde phase caractérisée par une émission discontinue semblable à celle observée chez les sujets opérés par voie transthoracique.

FIG. 6. — Évolution comparée du transit gastro-duodénal chez trois animaux offrant une préparation différente: 81987, nouvelle technique, 81458 — canules type ASH, 81188 — canules type ASH sur duodénum exceptionnellement long.

Expression en volume émis cumulé de 2 en 2 mn. Chaque courbe correspond à la moyenne de 5 essais, dans tous les cas pour une ration de 600 g distribuée à 14 heures.

●—● 81987
□—□ 81458
■—■ 81188

Un seul animal a fait exception, pour lequel la mise en place de canules d'ASH s'est révélée particulièrement aisée en raison d'une exceptionnelle longueur du duodénum. L'allure de la courbe moyenne obtenue diffère dans ce cas assez peu de celle observée pour des fistules transthoraciques.

3. Variabilité entre animaux.

La recherche de l'existence d'une éventuelle variabilité entre animaux a été effectuée par construction graphique des courbes de transit (fig. 7), exprimées en volumes cumulés, pour les valeurs moyennes de plusieurs essais réalisés sur le même sujet. Cette simple méthode montre l'existence de toute une famille de courbes très voisines. Dans ce sens, le transit gastro-duodénal ne paraît donc, en première analyse, que peu soumis à une forte variabilité entre individus.

4. Effets du volume de la ration.

Toutes conditions étant égales par ailleurs, le volume de la ration conditionne l'allure de la courbe de transit, en ce sens que les volumes ingérés et évacués sont évidemment en étroite relation. L'allure de la courbe obtenue pour un repas de 400 g, par rapport à un repas de 600 g, indique que l'évacuation s'effectue par jets moins volumineux. Si l'on définit comme élément de comparaison quantitative un temps de demi-évacuation considéré comme le temps nécessaire à l'évacuation d'un

volume égal à $\frac{\text{volume ingéré}}{2} \times 3,2$, la principale différence liée au volume de la ration est manifeste : ce temps de demi-évacuation qui s'établit en moyenne à 160 mn pour un repas de 600 g, est de 110 mn pour un repas de 500 g et de 70 à 80 mn pour un repas de 400 g.

FIG. 7. — Quelques types d'évolution du transit dans différentes conditions : repas de 600 g distribué à 2 sujets à 14 heures (81987- 5 essais, 81919-8 essais) ou à 7 h 30 (2 essais pour chacun)

Expression en volume émis cumulé de 10 en 10 mn

81987	●—●	600 g à 14 heures
	○—○	600 g à 7 h 30
81919	▲—▲	600 g à 14 heures
	△—△	600 g à 7 h 30

5. Effets de l'intervalle entre les repas.

L'observation de la figure 8 montre la faible amplitude des différences liées à l'effet de l'intervalle entre les repas, qu'il soit de 14 h 30 (repas à 7 h 30) de 6 h 30 (repas à 14 heures) ou de 3 heures (repas à 17 heures). Dans les conditions expérimentales citées, les évacuations des repas à 7 h 30 ou 14 heures, pour lesquelles l'estomac peut être considéré comme vide, se chevauchent sans particularité notable. La courbe d'évacuation du repas de 17 heures présente le même aspect, mais diffère des précédentes par ses ordonnées de début et fin d'enregistrement. L'ordonnée initiale — $t = 2$ mn — est plus élevée, ce qui paraît correspondre à un degré plus important de réplétion préalable de l'estomac. L'existence d'un effet de l'intervalle entre les repas est encore plus vraisemblable si l'on considère dans une autre série expérimentale, les volumes moyens émis au temps $t = 30$ mn :

978 ml lors de repas à 7 h 30 — 6 essais
 997 ml lors de repas à 14 heures — 13 essais
 1 090 ml lors de repas à 17 heures — 11 essais

FIG. 8. — Influence de l'intervalle entre les repas sur l'évacuation gastro-duodénale chez un même animal fistulé par voie transthoracique, dans le cas de distribution d'une ration de 600 g à 7 h 30 (intervalle 14 h 30), 14 heures (intervalle 6 h 30), ou à 17 heures (intervalle 3 heures). Expression en volume émis cumulé de 2 en 2 mn. Chaque courbe représente une valeur moyenne, de 6 essais pour le repas de 7 h 30, 11 essais pour le repas de 14 heures, et 8 essais pour le repas de 17 heures.

□—□ 7 heures
●—● 14 heures
■—■ 17 heures

C. — Analyse mathématique

1. Régression progressive multiple et modèle mathématique.

Dans ce premier type d'exploitation mathématique, la quasi-totalité des divers modèles testés se révèle utilisable pour l'un ou l'autre des essais individuels et, généralement, plusieurs modèles distincts fournissent un ajustement satisfaisant avec les valeurs observées d'un même essai. Par conséquent, il est nécessaire de choisir les modèles valables sur la base de la valeur du coefficient de corrélation multiple, et surtout de la valeur de F (test global d'ajustement qui tient compte du nombre de degrés de liberté). Puis, parmi ces modèles, est déterminé celui qui est à la fois le plus ajusté et le plus fréquemment observé pour des essais de même nature. Un reflet exact de l'ensemble des résultats obtenus est apporté par les tableaux 1 à 3 qui rassemblent les modèles les mieux ajustés pour quelques essais pris au hasard. D'emblée apparaît une nette différence selon la durée d'enregistrement sur laquelle est testé l'ajustement. Par contre, l'horaire du repas ne détermine aucune différence systématique d'ajustement à tel ou tel modèle.

Dans le cas des données recueillies au cours des 30 mn consécutives au début de l'ingestion alimentaire (tabl. 1), il y a toujours ajustement à une fonction de x du type $Y = b_0 + b_1x$, ou au polynôme du troisième degré $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$. Moins fréquemment l'ajustement est correct à des modèles du type $\log Y$ ou Y fonction des puissances successives de $\log x$. Le modèle de forme polynomiale apparaît donc le plus adéquat pour la période initiale (30 mn) de l'évacuation gastrique.

Les données de chacun des essais portant sur une durée de 120 mn après le début du repas (tabl. 2), peuvent être ajustées de façon satisfaisante à un petit nombre de modèles. Le plus constamment rencontré est du type Y fonction des puissances

TABLEAU I
*Équations de régression obtenues par régression progressive multiple
pour divers cas d'enregistrements d'une durée de 30 minutes après le début du repas*
Pour chacun de ces essais, seuls sont rapportés les modèles les mieux ajustés

Heure du repas	N° du porc	(30 mn) Équations de régression (Régression progressive)	Coefficient de corrélation multiple	Valeurs de F
7 h 30	82	$\text{Log } Y = -0,678 + 6,957 \log x - 2,648 (\log x)^2 + 0,369 (\log x)^3$ $Y = -111,591 + 72,744x - 3,555x^2 + 0,078x^3$	1,000 0,999	6 739 1 731
	83	$Y = 16,809 + 33,378x$	0,982	358
	82	$\begin{cases} Y = -123,056 + 39,378x \\ Y = -46,836 + 13,209x + 2,053x^2 - 0,044x^3 \\ Y = 47,675 - 81,182 \log x + 32,402 (\log x)^3 \end{cases}$	0,997 0,999 0,999	2 236 2 298 4 798
14 h 00	83	$Y = 45,818 - 15,725x + 3,900x^2 - 0,077x^3$ $\log Y = 0,967 + 2,033 \log x - 0,022 (\log x)^3$	0,998 0,996	986 662
	82	$Y = -96,070 + 58,311x - 1,834x^2 + 0,034x^3$ $Y = -83,195 + 24,407x + 72,411 \log x$ $Y = 53,716 + 21,317 (\log x)^3$	0,999 0,998 0,996	1 657 1 609 1 465
	83	$\log Y = 1,457 + 4,709 \log x - 1,677 (\log x)^2 + 0,237 (\log x)^3$ $Y = -1,990 + 38,503x$	1,000 0,997	11 015 2 489

TABLEAU 2
*Équations de régression acceptables pour quelques essais
correspondant à une durée d'enregistrement de 2 heures*

Heure du repas	N° du porc	(2 h) Équations de régression (Régression progressive)	Coefficient de corrélation multiple	Valeurs de F
7 h 30	83	$\bar{Y} = 164,336 + 22,338 (\log x)^3$	0,997	10 655
		$\bar{Y} = -185,353 + 44,528x + 236,602 \log x$	0,998	8 303
		$\bar{Y} = 72,417 + 41,214x - 0,322x^2 + 0,001x^3$	0,998	5 340
	82	$\begin{cases} \bar{Y} = 7,084 + 29,800x - 0,000 4x^3 \\ \bar{Y} = 45,187 + 29,078x + 0,014x^2 - 0,000 4x^3 \\ \bar{Y} = 188,085 - 87,777 (\log x)^2 + 43,961 (\log x)^3 \\ \bar{Y} = -272,084 + 583,111 (\log x) - 296,674 (\log x)^2 + 66,617 (\log x)^3 \end{cases}$	0,999	45 801
			0,999	10 396
			0,999	9 936
14 h 00	82	$\bar{Y} = -7,025 + 24,999 (\log x)^3$	0,999	23 419
		$\bar{Y} = -67,360 + 42,209x - 0,284x^2 + 0,001x^3$	1,000	22 362
	83	$\bar{Y} = 130,202 + 25,124 (\log x)^3$	1,000	68 022
		$\bar{Y} = 45,073 + 43,129x - 0,276x^2 + 0,001x^3$	1,000	33 924
		$\bar{Y} = -272,615 + 16,173x + 271,256 \log x$	0,999	12 108
17 h 00	83	$\bar{Y} = 150,459 + 26,705 (\log x)^3$	0,998	14 193
		$\bar{Y} = -72,522 + 56,929x - 0,496x^2 + 0,002x^3$	0,999	13 143
	83	$\bar{Y} = -22,726 + 65,484 (\log x)^2 + 16,198 (\log x)^3$	0,999	14 531
		$\bar{Y} = -62,151 + 60,422x - 0,477x^2 + 0,001x^3$	0,999	16 927

TABLEAU 3
*Régression des volumes émis cumulés par rapport au temps
pour quelques essais portant sur une durée d'enregistrement
de 5 heures 20 minutes après le début du repas*

Heure du repas	N° du porc	(5 h 20) Équations de régression (Régression progressive)	Coefficient de corréla- tion multiple	Valeur de F.
7 h 30	83	$\log y = 4,405 + 0,739 \log x$	0,998	8973
	83	$\log y = 4,395 + 0,739 \log x$	0,999	10678
		$\log y = 3,794 + 1,033 \log x - 0,034 (\log x)^2$	1,000	24456
		$y = -985,820 + 11,806x + 503,436 \log x$	1,000	16236
	81	$y = 182,620 + 29,329x - 0,069x^2 + 0,000 1x^2$	1,000	11869
		$\log y = 3,693 + 0,864 \log x$	0,977	640
		$\log y = 2,475 + 1,314 \log x - 0,007 8 (\log x)^3$	0,984	441
	83	$y = -814,258 + 12,805x + 500,542 \log x$	1,000	24324
17 h 00	83	$y = 379,910 + 29,470x - 0,064x^2 + 0,000 1x^3$	0,999	5455
		$\log y = 4,716 + 0,695 \log x$	0,997	5210
		$y = -1 050,293 + 13,768x + 529,220 \log x$	0,998	3728
	82	$\log y = 3,057 + 1,381 \log x - 0,069 (\log x)^2$	0,997	2592
		$y = 78,785 + 37,142x - 0,117x^2 + 0,000 2x^3$	0,998	2483

successives de $\log x$. Ce type d'ajustement est de surcroît rencontré dans 80 p. 100 des cas sous la forme $Y = b_0 + b_3(\log x)^3$. Enfin, pour une période d'enregistrement de 320 mn (tabl. 3) la variété des modèles à ajustement correct est encore moindre. Dans ce cas, le plus fréquemment adéquat est du type $\log Y$ fonction de $\log x$ ou des puissances successives de $\log x$. Malgré ces particularités, l'utilisation de la régression progressive multiple se révèle décevante.

2. Régression polynomiale et équation « réelle » de la courbe d'évacuation.

Les polynômes ajustés aux divers essais sont en première analyse fort variables, puisqu'ils se répartissent entre le second et le cinquième degré. Pour l'essentiel, l'analyse des résultats consiste donc en une étude de la fréquence d'apparition de tel ou tel degré de polynôme, donc de tel ou tel type de courbe d'évacuation.

Le tableau 4 présente le nombre de polynômes de chaque degré, dans le cas d'enregistrements d'une durée de 30 mn, pour les trois animaux, aux trois horaires de repas, ainsi que le degré du polynôme correspondant aux différentes moyennes des données de base. Si l'on envisage les résultats de chaque animal, horaire par horaire, il est impossible de définir le degré le plus fréquemment rencontré pour le porc 83. Pour les 2 autres sujets, les polynômes de degré 3 sont nettement les plus fréquents. Si l'on considère l'ensemble des résultats pour chaque porc, indépendamment de l'horaire, le degré 3 représente 18 cas sur 21 pour le Porc 82 et 9 sur 13 pour le Porc 81. Il est également le plus fréquent pour le Porc 83, mais ne représente que 15 cas sur 32 essais. Après regroupement des résultats des 3 animaux, horaire par horaire, le degré 3 apparaît 7 fois sur 12 pour les repas à 7 h 30, 17 fois sur 29 à 14 heures et 18 fois sur 25 à 17 heures. Par conséquent, un polynôme de

TABLEAU 4

Répartition des polynômes en fonction de leur degré pour la totalité des essais dont la durée d'enregistrement n'excède pas 30 minutes

Horaire de distribution	Nombre d'enregistrements	Nombre d'essais dont le polynôme est de degré				Degré du polynôme de la moyenne	
		5	4	3	2		
Porc 83 {	7 h 30	6	1	4	1	—	4
	14 h	13	—	6	6	1	2
	17 h	13	1	2	8	2	3
	Total	32	2	12	15	3	3
Porc 82 {	7 h 30	4	—	—	4	—	1
	14 h	8	—	—	7	1	1
	17 h	9	1	—	7	1	2
	Total	21	1	—	18	2	3
Porc 81 {	7 h 30	2	—	—	2	—	3
	14 h	8	—	4	4	—	1
	17 h	3	—	—	3	—	3
	Total	13	—	4	9	—	3

degré 3 rend compte de l'allure de l'évacuation gastro-duodénale au cours des 30 premières minutes après le début du repas dans 42 cas sur 66. Il n'y a que 36,4 p. 100 des cas ne répondant pas au schéma le plus courant.

Un autre phénomène ressort du tableau 4 : la courbe de la moyenne des données de 8 essais, dont 7 répondent à un polynôme de degré 3 (porc 82, repas 14 heures), s'ajuste à un polynôme du premier degré, ce qui est sans aucun rapport avec l'aspect réel de l'évacuation gastro-duodénale au cours des 8 essais. La même déformation se retrouve pour le porc 83 (repas 14 heures) ou pour la moyenne des 29 essais sur les trois porcs aux repas de 14 heures. Dans ce dernier cas, la courbe moyenne est ajustée à une droite, alors que 17 essais sur 29 sont de degré 3 et 10 de degré 4.

TABLEAU 5

*Répartition des polynômes en fonction de leur degré
pour des essais comportant une durée d'enregistrement de 2 heures*

Horaire de distribution	Nombre d'enregistrements	Nombre d'essais dont le polynôme est de degré				Degré du polynôme de la moyenne
		5	4	3	2	
Porc 83 { 7 h 30	6	—	1	1	4	3
	14 h	—	—	5	6	3
	17 h	—	—	2	—	3
	Total	—	1	8	10	3
Porc 82 { 7 h 30	4	—	1	3	—	3
	14 h	—	1	5	1	3
	17 h	1	—	—	1	4
	Total	1	2	8	2	3
Porc 81 { 7 h 30	2	—	1	1	—	4
	14 h	—	2	4	—	4
	Total	—	3	5	—	3

Dans le cas d'enregistrements d'une durée de 2 heures après le début du repas (tabl. 5), apparaît la même fluctuation dans les degrés de polynôme observés, avec une certaine différence entre animaux. En effet, les polynômes de degré 3 sont les plus fréquents pour les porcs 81 et 82. Mais on obtient, pour le porc 83, 10 polynômes du second degré sur 19 essais pour 8 seulement de degré 3. Pour cette durée de 2 heures, le polynôme obtenu à partir de la moyenne des données expérimentales, rend compte de façon plus correcte des résultats individuels des essais. Il faut cependant remarquer que la moyenne de 12 essais à 7 h 30 pour les 3 animaux, correspond à un polynôme de degré 4, alors que 5 essais sont de degré 3, et 4 de degré 2.

Les résultats obtenus pour des enregistrements d'une durée de 320 mn sont très homogènes. Tous les essais effectués, ainsi que la quasi-totalité des moyennes d'essais, répondent à un polynôme de degré 3. Quelques exemples d'équations de régression polynomiale, obtenues pour les divers types d'enregistrements figurent au tableau 6. La représentation graphique d'une évacuation enregistrée pendant 320 mn est apportée par la figure 9.

TABLEAU 6

*Exemples de régressions polynomiales
obtenues dans les diverses conditions expérimentales*

Durée d'enregistrement	Heure du repas	N° du porc	Constante b_0	Coefficients de régression		
				b_1	b_2	b_3
30 mn	7 h 30	82	— 111,530	72,735	— 3,554	0,078 4
		81	— 10,678	41,048	— 1,579	0,035 2
		83	1,216	27,915	— 0,346	0,013 6
	14 h	83	— 41,218	49,080	— 0,887	0,020 3
		82	— 73,961	32,240	— 0,053	— 0,008 7
		81	— 153,914	100,569	— 2,865	0,035 6
	17 h	83	— 27,437	68,572	— 1,994	0,030 0
		82	— 86,467	42,708	— 0,772	0,019 9
		81	— 92,174	72,173	— 2,508	0,040 4
2 h	7 h 30	83	72,248	41,237	— 0,323	0,001 3
		82	— 186,728	46,660	— 0,244	0,000 7
	14 h	83	— 104,898	40,049	— 0,177	0,000 4
		82	— 156,423	58,081	— 0,407	0,001 4
	17 h	83	— 62,736	60,484	— 0,478	0,001 7
		82	— 59,839	53,577	— 0,305	0,000 6
5 h 20 mn	7 h 30	83	1,428	29,293	— 7,082	0,954 8
		82	— 0,321	34,070	— 8,569	0,976 5
	17 h	83	2,188	34,137	— 9,890	1,525 4
		82	1,816	29,363	— 6,940	0,986 4

En définitive, il ressort de l'ensemble des essais soumis au calcul (moyennes exclues), que l'évacuation gastro-duodénale, exprimée par le volume cumulé émis au niveau du pylore, en fonction du temps, est parfaitement ajustée à un polynôme de degré 3 dans 63 p. 100 des cas, c'est-à-dire à une courbe à un seul point d'inflexion. Mais il faut souligner que l'ajustement au degré 3 peut également être retenu dans les cas où le meilleur ajustement s'effectue à des degrés supérieurs. Le polynôme de degré 3 fournit un ajustement certes moins bon, mais toujours satisfaisant ; lors d'ajustement à des degrés inférieurs, il est possible de le forcer au degré 3, sans s'éloigner significativement du modèle observé.

3. Interprétation des coefficients de régression polynomiaux.

Sur la base des résultats ci-dessus, la totalité des polynômes correspondant aux divers essais a été exprimée en équations du troisième degré

$$(y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3),$$

afin de permettre l'analyse de variance sur une matrice de données de base cohérente, et d'exclure le caractère quasi ininterprétable d'un coefficient b_4 par exemple.

FIG. 9. — Construction graphique par l'ordinateur des courbes observées (points) et calculées (étoiles) de l'évacuation gastro-duodénale d'un repas de 600 g distribué à 7 h 30 (enregistrement d'une durée de 320 mn). La localisation du point d'inflexion est indiquée par l'origine des axes en pointillés.

Régression	$b_0 = 1,96\ 378$	Point d'inflexion
polynomiale	$b_1 = 32,66\ 631$	
	$b_2 = -8,29\ 407$	$x_1 = 2,8$
	$b_3 = 0,98\ 832$	$Y_1 = 50,1$

La constante b_0 du polynôme rend compte sur le plan mathématique de l'ordonnée à l'origine. Vis-à-vis du phénomène étudié, b_0 traduit une tendance initiale à l'évacuation, évoluant d'un caractère favorable à un caractère défavorable lorsque b_0 évolue des valeurs positives aux valeurs négatives. Cette perspective trouve une justification en relation avec l'état de vacuité digestive. Lors de vacuité intestinale, l'appel de nutriments conditionne une forte tendance à l'évacuation et un b_0 positif (ou moins négatif puisque la forme de la courbe implique grossièrement des b_0 et b_2 négatifs et des b_1 et b_3 positifs). Inversement la réplétion intestinale conduit aux valeurs les plus négatives de b_0 .

Le coefficient b_1 , qui traduit une vitesse initiale, exprime dans une perspective analogue l'effet de la réplétion préalable de l'estomac. La valeur de b_1 est ainsi l'expression mathématique, d'autant plus positive que la réplétion préalable est plus importante, de l'intensité du débit pylorique au début de l'essai. La confirmation de ces caractéristiques de b_0 et b_1 ressort des moyennes ajustées pour les différents horaires de repas (tabl. 7) puisque ces derniers conditionnent, par l'intervalle au repas précédent, les volumes digestifs résiduels.

Le facteur accélération, dont rend compte le coefficient b_2 , correspond ici, en raison du caractère négatif de b_2 , à une décélération, donc au ralentissement imposé au phénomène, compte tenu de son intensité préalable. Ceci revient à dire que les moyennes ajustées (tabl. 7) sont les moins négatives lorsque l'évacuation est peu freinée (faible décélération), et les plus négatives lorsque l'évacuation est fortement

TABLEAU 7

Influence de l'horaire des repas sur les coefficients de régression polynomiaux

Coefficient de régression	Horaires des repas	Moyenne ajustée	Comparaison des moyennes Test de <i>t</i>
b_0	$a = 7 \text{ h } 30$	0,064	a/b 1,99 *
	$b = 14 \text{ h}$	— 34,377	a/c 2,69 **
	$c = 17 \text{ h}$	— 49,306	b/c 0,89 N. S.
b_1	$a = 7 \text{ h } 30$	32,876	a/b 0,89 N. S.
	$b = 14 \text{ h}$	37,119	a/c 3,27 **
	$c = 17 \text{ h}$	49,475	b/c 2,67 **
b_2	$a = 7 \text{ h } 30$	— 0,469	a/b 1,15 N. S.
	$b = 14 \text{ h}$	— 0,905	a/c 2,92 **
	$c = 17 \text{ h}$	— 1,641	b/c 2,01 *
b_3	$a = 7 \text{ h } 30$	0,067	a/b 1,38 N. S.
	$b = 14 \text{ h}$	0,124	a/c 2,23 *
	$c = 17 \text{ h}$	0,166	b/c 1,02 N. S.

freinée (décélération intense). Là encore l'interprétation physiologique est liée à l'état de réplétion ou de vacuité préalable du tube digestif. Ainsi sont établies les correspondances suivantes :

- a) b_0 les moins négatifs — forte tendance à l'évacuation
 b_1 les moins positifs — intensité faible de l'évacuation en début d'épreuve
 b_2 les moins négatifs — faible intensité des facteurs inhibiteurs

La vacuité des portions proximales de l'intestin grêle implique l'absence d'inhibition (b_2), donc la liberté potentielle d'évacuation (b_0), cependant que b_1 est faible, l'estomac étant lui-même vide.

- b) b_0 les plus négatifs — faible tendance à l'évacuation
 b_1 les plus positifs — intensité forte de l'évacuation en début d'essai
 b_2 les plus négatifs — manifestation accrue des facteurs inhibiteurs.

L'observation de ces caractéristiques, lors de réplétion préalable de l'estomac et des portions proximales du grêle, conduit à constater que l'inhibition rétrograde par réplétion intestinale intervient plus activement pour limiter les effets stimulants d'une réplétion gastrique accrue, et maintenir l'évacuation en deçà d'un débit maximum. Par voie de conséquence, l'évacuation gastrique, quoique légèrement plus importante lors de réplétion gastrique résiduelle préalable (repas à 17 heures, fig. 8) est d'autant moins précocement achevée. Le coefficient b_2 exprime ainsi la durée nécessaire à l'amortissement complet du phénomène et l'on remarque à ce propos la concordance avec les temps de demi-évacuation rapportés plus haut.

Enfin, le coefficient cubique b_3 rend compte globalement de l'asymétrie de la courbe de part et d'autre du point d'inflexion. Il témoigne de la rapidité de l'évacuation en deçà par rapport à sa relative lenteur au-delà, et de leur interrelation. Il

importe ici de préciser que le calcul systématique des coordonnées du point d'inflexion montre que ce dernier peut valablement être assimilé au début du repas d'épreuve. Cette superposition est d'autant plus précise que l'ajustement polynomial est effectué sur une durée plus importante. A la lumière de l'interprétation de b_2 , celle du coefficient cubique est aisée. Celui-ci est d'autant plus positif et l'asymétrie d'autant plus forte, que l'évacuation gastrique — toutes conditions étant égales au-delà du point d'inflexion — sera plus proche du débit maximum.

4. *Analyse de variance.*

Cette analyse a été effectuée systématiquement sur b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , x_i et y_i afin de tester l'importance de quatre facteurs de variation (REES, 1966) :

- influence de l'horaire des repas ;
- influence de la durée de l'enregistrement ;
- variation inter-individus ;
- variation entre essais chez un même porc.

Ce dernier facteur supposé de variation peut être d'emblée éliminé. En effet, les divers essais individuels d'un même animal ne sont pas significativement différents, ce qui contraste singulièrement avec l'importance de la variabilité apparente des volumes recueillis. En l'occurrence, il n'existe aucune différence systématique, et les fluctuations observées d'un jour à l'autre sont purement aléatoires. Par ailleurs, aucun des facteurs testés n'introduit de variation significative dans la localisation du point d'inflexion, témoignant d'une remarquable constance du phénomène.

En ce qui concerne *l'influence de l'horaire des repas* (tabl. 7), on constate pour b_0 que la différence entre les repas à 7 h 30 et à 14 h est significative. Ceci indique que 6 h 30 après le repas du matin, les portions proximales du grêle sont encore suffisamment emplies pour qu'il n'y ait pas une aussi forte tendance à l'évacuation. La situation observée 6 h 30 après le repas du matin n'est cependant pas différente de celle observée au repas de 17 h soit 3 h après le repas précédent. On peut en conclure que le degré de réplétion des portions proximales du grêle 3 h ou 6 h 30 après un repas (de mêmes caractéristiques) produit des effets analogues. Les effets constatés pour b_1 indiquent que, si à 14 h les portions proximales du grêle contiennent encore des ingesta, l'estomac est, quant à lui, probablement près de la vacuité puisque l'intensité initiale de l'évacuation n'est pas sensiblement différente de celle observée à 7 h 30. Par contre, la différence très significative entre les valeurs de b_1 à 14 h et à 17 h correspond à celle existant entre un estomac totalement évacué ou à demi évacué. Un phénomène analogue survient dans le cas de b_2 , qui conduit à nuancer la conclusion déduite des effets sur b_0 . La différence des b_2 , non significative entre les repas à 7 h 30 et à 14 h, indique que, s'il y a suffisamment de digesta dans l'intestin pour éviter une forte tendance à l'évacuation, leur quantité n'est néanmoins pas suffisante pour mettre en jeu des facteurs inhibiteurs et prolonger sensiblement l'évacuation gastrique. Enfin, dans le cas de b_3 , l'absence de signification des différences entre les repas 7 h 30/14 h et 14 h/17 h, vient tempérer l'importance qui pouvait être accordée à l'asymétrie. Seule la comparaison entre les extrêmes de nos conditions expérimentales fait apparaître une différence significative au seuil 0,5. Ces résultats ne peuvent que témoigner de l'efficacité des mécanismes de régulation de l'évacuation gastrique.

TABLEAU 8
*Analyse de variance sur les coefficients des régressions polynomiales :
 effet de la durée de l'enregistrement et effet porc*

Coefficient de régression	Effet durée				Effet porc			
	Durée	Moyenne ajustée	Comparaison	Test de <i>t</i>	Porc	Moyenne ajustée	Comparaison	Test de <i>t</i>
b_0	$a = 30 \text{ mn}$ $b = 2 \text{ h}$ $c = 5 \text{ h } 20$	— 12,439 — 60,266 — 15,675	a/b a/c b/c	3,28 ** 0,13 N. S. 1,70 N. S.	$a = 81$ $b = 82$ $c = 83$	— 38,839 — 54,161 — 7,776	a/b a/c b/c	0,83 N. S. 1,72 N. S. 3,07 **
	$a = 30 \text{ mn}$ $b = 2 \text{ h}$ $c = 5 \text{ h } 20$	37,207 45,394 30,268	a/b a/c b/c	2,03 * 0,98 N. S. 2,09 *	$a = 81$ $b = 82$ $c = 83$	51,753 33,633 38,327	a/b a/c b/c	3,56 ** 2,68 ** 1,12 N. S.
	$a = 30 \text{ mn}$ $b = 2 \text{ h}$ $c = 5 \text{ h } 20$	— 0,169 — 0,349 — 8,884	a/b a/c b/c	0,57 N. S. 15,55 ** 14,89 **	$a = 81$ $b = 82$ $c = 83$	— 4,787 — 0,497 — 1,012	a/b a/c b/c	3,21 ** 1,96 N. S. 1,56 N. S.
b_3	$a = 30 \text{ mn}$ $b = 2 \text{ h}$ $c = 5 \text{ h } 20$	— 0,002 0,008 1,358	a/b a/c b/c	0,30 N. S. 22,01 ** 21,35 **	$a = 81$ $b = 82$ $c = 83$	0,107 0,123 0,125	a/b a/c b/c	0,37 N. S. 0,43 N. S. 0,06 N. S.

L'interprétation de *l'influence de la durée de l'enregistrement* (tabl. 8) est très délicate. Il s'agit en effet ici, non pas de comparer l'évacuation gastrique dans telle ou telle circonstance, mais de déterminer la durée nécessaire à l'élaboration, pour une même épreuve, d'un ajustement polynomial qui rende compte de façon satisfaisante du phénomène observé. S'il paraît *a priori* évident qu'il est plus sûr de déterminer la courbe la plus approchée de la courbe réelle (processus d'ajustement) sur la totalité plutôt que sur un fragment de cette dernière, il importe de le vérifier par le calcul. Or, c'est bien pour une durée de 5 h 20 mn que s'isolent les caractéristiques les plus pures : asymétrie nettement établie (b_3 le plus positif) et amortissement tardif le plus net (b_2 le plus négatif), en l'absence d'une tendance excessive à l'évacuation (b_0 faible) et d'une intensité initiale trop grande du phénomène (b_1 le moins positif).

Enfin, bien que *les variations inter-individuelles* ne soient explorées que sur les 3 animaux dont les résultats ont été soumis au calcul sur ordinateur, deux particularités apparaissent dans le tableau 8. Le porc 83 a un b_0 nettement moins négatif que les autres animaux, c'est-à-dire une tendance de base beaucoup plus grande à l'évacuation gastrique. Le porc 81 présente un coefficient b_1 nettement plus positif, et un coefficient b_2 plus négatif que les 2 autres porcs. On peut en déduire que cet animal offre généralement une intensité initiale plus grande, mais un amortissement plus efficace que les autres.

DISCUSSION

Face à l'ensemble de ces résultats, deux aspects distincts du problème se dégagent : d'une part la technique proprement dite de fistulation et l'étude descriptive de l'évacuation gastro-duodénale, d'autre part l'exploitation mathématique des résultats.

1. *Technique chirurgicale et étude descriptive de l'évacuation*

Indépendamment des qualités d'innocuité et d'efficacité de la technique chirurgicale proposée, un problème important est posé par la validité des résultats ainsi obtenus, du fait de la différence des courbes de transit selon la technique utilisée. Le caractère très particulier des courbes obtenues avec les canules d'ASH (AUFFRAY *et al.*, 1967), ne semble pas devoir selon ces auteurs, être relié à une quelconque influence du pH ; elle ne peut l'être à la nature du régime puisque cette caractéristique a été retrouvée pour le régime naturel utilisé dans ce travail. En revanche, l'observation purement occasionnelle, réalisée sur un sujet à duodénum très long, vient à l'appui de l'hypothèse mécanique selon laquelle seule serait en cause la technique de fistulation. Le choix d'une voie thoracique évite toute traction sur le duodénum. La suppression quasi totale de la partie intra-intestinale des canules, susceptible de déclencher des phénomènes réflexes, serait en outre un élément déterminant de la régularité des réponses. L'usage pour la fistulation de matériaux parfaitement tolérés par l'organisme, constitue un réel avantage. En définitive, l'association des canules proposées (silicone et tissu médicaux) et de la voie chirurgicale décrite, permet de disposer d'animaux de longévité expérimentale satisfaisante en l'absence de fuites de contenu intestinal.

Par rapport à la description d'AUFFRAY *et al.* (1967), on relève plusieurs concordances concernant les modalités de détail de l'évacuation et une discordance relative à la forme de la courbe globale. Au nombre des analogies : importance du volume évacué dès les premières minutes ; émission discontinue sous forme de jets plus ou moins espacés et abondants (leur volume et leur succession très rapide aussitôt après le repas peuvent à la limite faire croire à une émission continue) ; précession de l'évacuation des liquides sur celle des solides ; évacuation très rapide et directe de l'eau ingérée séparément. Cependant, l'allure générale du phénomène décrit par AUFFRAY *et al.* (1967) et tel que nous l'avons retrouvé par la même technique, consiste en une phase précoce et brève d'évacuation intense quasi continue, suivie — après interruption plus ou moins complète — d'une seconde phase d'évacuation régulière, discontinue et irrégulièrement décroissante. A l'opposé, la courbe d'évacuation obtenue par la technique proposée est d'aspect général régulier, et correspond en totalité à un mode d'évacuation discontinu. Le mode d'expression des résultats constitue sur ce point un important facteur de compréhension du phénomène. En effet, l'analyse en volumes cumulés présente l'intérêt de neutraliser rapidement le coefficient de variation observé par temps unitaire (10 à 15 p. 100), en rapportant l'écart à une mesure de plus en plus grande, et donc de débarrasser la courbe des aspérités de type aléatoire. L'absence de plateau (courbes de type cumulé) sur les courbes obtenues par la technique de fistulation transthoracique constitue alors la différence manifeste. Cette régularité est-elle plus physiologique ? Il est permis de le supposer sur la base des données techniques et chirurgicales évoquées plus haut, bien que seule une étude cinéradiographique permette de confirmer que ces résultats correspondent bien à la réalité physiologique chez l'animal intact. Mais un autre argument peut être utilement avancé. AUFFRAY *et al.* (1967) observent que les volumes recueillis au bout de 7 h sont environ deux fois plus élevés que les volumes ingérés, alors que dans le cas présent un volume trois fois supérieur est obtenu en 6 h à 6 h 30. Cette différence peut être interprétée comme une évacuation plus complète par réduction de l'obstacle artificiel lié à la fistulation, à moins que soit en cause ici la nature du régime alimentaire utilisé. Enfin un étroit parallélisme existe entre l'évacuation observée lors de fistulation transthoracique, et la description obtenue par la technique consistant à sacrifier les animaux à divers intervalles de temps après les repas expérimentaux et à prélever quantitativement et séparément les contenus des divers segments du tube digestif (RÉRAT *et al.*, 1963). Ces auteurs décrivent une évacuation très rapide (environ 45 p. 100 de la matière sèche ingérée) au cours des deux premières heures après le repas, suivie d'une période d'évacuation plus modérée (de la 2^e à la 5^e heure après le repas) et d'un regain final. Cette description rejoint nos observations et peut être appliquée à l'évacuation représentée dans la figure 3. RÉRAT *et al.* concluent néanmoins à un phénomène continu de type exponentiel (relation linéaire temps/logarithme de la quantité de matière sèche restant dans l'estomac).

En définitive, par la seule observation des résultats recueillis par cette nouvelle technique, on est amené à concevoir l'évacuation gastro-duodénale chez le porc comme un phénomène d'une grande régularité. Au-delà de cette analyse globale, se dessine l'intervention d'un certain nombre de facteurs au premier rang desquels le volume de la ration et l'intervalle entre les repas. Cet effet intervalle s'exprime du reste ici en termes de volume, puisque le temps écoulé depuis le repas conditionne

le volume résiduel de chyme gastrique et la quantité de nutriments présents dans les portions proximales de l'intestin grêle. Les modifications observées, en relation avec ces deux variables, sont apparemment faibles. Mais il est nécessaire de rappeler sur ce point, que le niveau d'ingestion des sujets confinés en cage est de 1 800 g par jour dans nos conditions expérimentales, alors que ces mêmes animaux placés au sol consomment aisément 3 000 g/jour, et, dans ces conditions, les différences sont nécessairement plus faibles.

2. Analyse mathématique

Régression progressive multiple.

Les tentatives d'interprétation des résultats, par ajustement à des modèles mathématiques relativement simples, se révèlent intéressantes en regard d'une méthodologie classique assimilant l'évacuation gastrique, par exemple, à un modèle exponentiel (HUNT *et al.*, 1951-1954). La première remarque est qu'aucun modèle particulier ne s'impose d'emblée comme étant l'expression la plus valable de l'évacuation gastrique. Dès lors, en l'absence de modèle idéal, il faudrait opérer, parmi ceux d'ajustement correct, le choix de celui qui est le plus fréquemment adéquat. Parallèlement à cette difficulté, on constate parmi ces modèles l'apparition d'équations polynomiales, ce qui traduit l'incapacité de la seule équation linéaire à décrire la loi véritable du phénomène. Cela indique également qu'il convient plutôt de rechercher la fonction polynomiale de Y dont la courbe représentative épouse le plus étroitement la courbe d'évacuation observée. En second lieu, on notera que le choix d'un modèle par ajustement à la moyenne de plusieurs essais est exclu puisque la régression polynomiale a mis en évidence la possible discordance entre la courbe moyenne et la quasi-totalité des courbes qui lui ont donné naissance. Il est ainsi permis de se demander si la régression linéaire obtenue chez l'Homme après transformation logarithmique (HUNT *et al.* 1954) ou en racines carrées (HOPKINS, 1966) n'est pas la conséquence d'un tel phénomène.

La non apparition d'un modèle simple, caractérisant le phénomène exponentiel, et exprimé par une relation linéaire entre le temps et le logarithme du volume recueilli cumulé, au profit de fonctions plus complexes, peut exprimer l'interférence des sécrétions digestives (salivaires, gastrique, biliaire et pancréatique ⁽¹⁾). On remarquera en effet que la rigoureuse relation linéaire mise en évidence par RÉRAT *et al.* (1963) concerne une quantité de matière sèche et non un volume global. En dernier lieu, il apparaît que l'expression préférentielle diffère selon la durée de l'enregistrement ($Y/\log x$ pour une durée de 2 heures, $\log Y/\log x$ pour une durée de 5 h 20). Il est donc, dans ce principe, rigoureusement exclu d'extrapoler, à partir de l'observation du phénomène au cours d'une tranche limitée, l'allure globale de l'évacuation gastrique. D'un point de vue plus appliqué, cette technique d'exploitation ne permet guère des comparaisons expérimentales dans le cadre d'une étude de modifications de l'évacuation gastrique. Il est probable, si l'on note que le nombre de modèles convenables s'amenuise lorsque la durée de la période d'enregistrement s'accroît, qu'il existe un modèle globalement adéquat. Mais le caractère nécessaire-

(¹) Le canal cholédoque débouche en effet chez le porc à proximité immédiate du pylore, donc en amont de la fistule rentrante. De même, le canal de Wirsung débouche à 2 ou 3 cm au-dessus de la canule proximale.

ment très lâche d'un tel ajustement, en fait encore un instrument expérimental inutilisable. L'usage de la régression progressive multiple se révèle en définitive de peu d'intérêt.

Régression polynomiale et analyse de variance.

Face aux résultats précédemment exprimés, il paraît bien préférable de rechercher l'équation polynomiale la plus étroitement ajustée à la courbe observée. On dispose alors dans tous les cas, non plus de formulations distinctes, mais d'une expression unique permettant toutes les comparaisons expérimentales par l'analyse de variance des coefficients de régression polynomiaux. La seule difficulté réside dans l'interprétation physiologique de ces coefficients. La notion fondamentale exprimée par chaque coefficient est intangible mathématiquement : b_0 ordonnée à l'origine, b_1 vitesse initiale, b_2 accélération *vs.* décélération, b_3 asymétrie de part et d'autre du point d'inflexion. La signification accordée à chaque coefficient, par-delà la notion abstraite, est probablement susceptible de formulations diverses en fonction des facteurs expérimentaux invoqués. Certes, le transit digestif dépend d'innombrables composantes, nerveuses, humores, (homéostasiques ou endocrines) et comportementales. Mais elles ne doivent pas faire oublier les deux principes majeurs d'action et réaction exprimés depuis fort longtemps :

1° la rapidité du passage des aliments par le pylore est proportionnelle à la distension de l'estomac (MARBAX, 1898) ;

2° le non remplissage du duodénum, par dérivation externe, accélère l'évacuation gastrique (THOMAS *et al.*, 1934 — chez le Chien) alors que sa prompte distension inhibe l'évacuation (SPURELL, 1935 — chez le Chat ; AUFFRAY *et al.*, 1967 — chez le Porc). Si l'on admet alors avec HUNT et KNOX (1968) que trop de données quantitatives font encore défaut pour pouvoir envisager l'élaboration d'un modèle analogique, il s'avère préférable de se borner à invoquer les facteurs les mieux connus pour l'interprétation des coefficients polynomiaux, puisqu'aussi bien le contrôle physiologique d'une fonction n'est pas sa régulation (HUNT, 1963) ⁽¹⁾.

Sur la base de ces facteurs de contrôle volumétrique, est proposée l'interprétation des coefficients b_0 , b_1 et b_2 , dont le sens de variation est indiqué par le caractère plus ou moins négatif ou positif et non par le sens absolu du signe par rapport au 0. L'explication avancée pour b_0 reste cependant plus subjective. Mais l'observation de l'association des b_0 et des b_2 les moins négatifs lors de vacuité digestive ou les plus négatifs lors de réplétion conduit à concevoir b_0 comme une certaine disposition favorable ou défavorable, reflétant assurément la vacuité digestive et peut être l'appétit de l'animal (ce qui reste évidemment hypothétique). Quant au coefficient cubique qui rend compte de l'asymétrie du phénomène de part et d'autre du point d'inflexion, il témoigne de la rapidité du phénomène en deçà par rapport à sa relative lenteur au-delà. Dans ce sens, on constate qu'à la période d'évacuation intense consécutive au repas (et grossièrement au point d'inflexion) succède la phase de décroissance finale de l'évacuation de plus en plus lente. Cette phase lente se trouve, dans le temps, précéder le point d'inflexion correspondant au repas suivant. Et à cette phase lente s'opposera de nouveau asymétriquement une croissance rapide.

⁽¹⁾ « Thus, gastric emptying was being controlled, but if there was anything which was being regulated at some constant level we have not yet discovered what is was. »

Une telle transposition n'est pas abusive puisque l'absence d'effet de l'une ou l'autre des conditions expérimentales sur les coordonnées du point d'inflexion confirme l'authenticité de la superposition début du repas/point d'inflexion. On retrouve donc à nouveau la description de RÉRAT *et al.* (1963) et l'on peut admettre que l'évacuation gastrique se présente comme un phénomène biphasique mais dans un sens et en des limites de temps très différents des conclusions d'AUFFRAY *et al.* (1967). Les deux phases qui peuvent être ainsi définies ne sont nullement des phénomènes différents, mais seulement l'expression de l'intensité différente d'un même processus en début et en fin de réalisation. Les différences particulièrement nettes des coefficients quadratique et cubique lors d'enregistrement d'une durée de 5 h 20 reflètent la présence, dans le phénomène analysé, de la seconde phase terminale lente de l'évacuation, qui n'est pas englobée dans un enregistrement d'une durée de 2 heures ou *a fortiori* de 30 mn.

En ce qui concerne l'analyse de variance, l'interprétation des différences testées est tributaire de la signification accordée à chacun des coefficients polynomiaux. Ce qui peut être déduit de l'influence de l'horaire des repas rejoint de façon étroite l'observation et les résultats connus chez l'Homme. Ainsi, le caractère d'autant plus positif de b_1 que l'estomac est plus rempli, signifie que la vitesse de l'évacuation est d'autant plus grande que le volume de contenu gastrique est plus grand, en accord avec MARBAIX (1898) et HUNT *et al.* (1954) puisque ce dernier observe que, de deux repas d'épreuve consécutifs, le second est évacué plus rapidement que le premier. Enfin, l'absence de variation d'un essai à l'autre (reproductibilité également observée chez l'Homme par HUNT *et al.* (1954)) jointe à l'existence des particularités individuelles, impliquent, s'il est encore besoin, que chaque animal soit son propre témoin pour toute épreuve expérimentale d'un facteur de variation de l'évacuation gastrique.

En définitive, la méthode d'exploitation des résultats ici proposée, régression polynomiale suivie d'analyse de variance des coefficients de régression polynomiaux, permet une analyse qualitative précise de l'évacuation gastrique malgré les nombreuses fluctuations aléatoires du phénomène. Elle offre ainsi à l'interprétation un certain nombre de caractéristiques de cette évacuation qui permettent d'envisager l'étude sous un jour très différent de la simple observation quantitative. Sur cette base peuvent être décelés des effets apparemment aussi discrets que celui de l'intervalle entre les repas. Cette technique offre donc une forte puissance de discrimination, pour une mise en œuvre aisée dans le cadre d'une utilisation routinière du calcul sur ordinateur. L'ensemble des données fournies aboutit à confirmer chez le Porc l'interaction mentionnée par HUNT *et al.* (1954) chez l'Homme. Le volume intragastrique affecte directement l'estomac et indirectement l'intestin dans sa capacité réceptrice (GREGORY, 1950) ; la situation intra-intestinale influence à la fois l'estomac et l'intestin.

CONCLUSION

La nouvelle technique de fistulation chronique du duodénum chez le Porc, utilisant une voie d'abord transthoracique extra-pleurale et un type de canule plus approprié, constitue un moyen correct d'étude de l'évacuation gastro-duodénale

dans cette espèce. Cette évacuation se présente comme un phénomène régulier, bien que le détail en soit largement soumis à de nombreuses fluctuations aléatoires. L'analyse mathématique détaillée de la courbe d'évacuation permet cependant de déceler deux phases consécutives, articulées de façon continue, alentour de la 2^e heure après le repas et qui ne diffèrent que par l'intensité de l'évacuation. S'il existe quelques différences mineures d'un animal à l'autre, chaque individu conserve un type d'évacuation rigoureusement invariable. Toute tentative de définition d'un modèle simple se révèle illusoire sur le fond et inefficace quant à son utilisation pour les comparaisons expérimentales. Dans la majorité des cas, un polynôme de degré 3 est très correctement ajusté au phénomène observé. La technique proposée d'exploitation des résultats fondée sur l'analyse de variance des coefficients de régression polynomiaux, fournit un moyen précis d'analyse qualitative du phénomène et une possibilité de comparaison expérimentale puissante. L'ensemble des conclusions obtenues pour le Porc, rejoint de façon très étroite les connaissances concernant l'Homme. D'autre part la technique d'exploitation mathématique choisie doit permettre d'apporter quelque précision à l'étude de l'évacuation gastro-duodénale lors de modifications du régime alimentaire.

Reçu pour publication en août 1970.

REMERCIEMENTS

Nos vifs remerciements vont au personnel de la Station de Biométrie de l'I. N. R. A., et en particulier à M^{me} TASSENCOURT, qui ont assumé la partie matérielle des calculs sur ordinateur.

SUMMARY

GASTRO-DUODENAL EMPTYING IN THE PIG CHRONIC FISTULATION THROUGH EXTRA-PLEURAL THORACIC PATHWAY ; STUDY OF A TECHNIQUE FOR MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE EMPTYING

Large White pigs from 70 to 80 kg were used to study the gastro-duodenal emptying. An original technique of chronic fistulation of the duodenum was perfected and applied in the pig through extra-pleural transthoracic pathway. A new model of re-entrant cannulae was conceived and realized in silicone and medical tissue. The purpose of the experimental study was to examine the gastric emptying of a standard barley diet fed to growing-finishing pigs. The food rations were given in the form of a soup (dilution 1 : 3) and distributed at 7.30 a. m., 14.00 p. m. and 17.00 p. m.

The quantitative description of the obtained results clearly shows the discontinuous character of the evacuation of the alimentary bolus in the form of successive spurts, numbering 5.36 ± 0.30 per fraction of 2 mn during the first hour after the meal, and of uneven volume (0 to 40 ml). On the other hand, drinking induces an almost immediate appearance of a continuous flow of liquid at the pylorus level. The volumes collected within 6 hours amount to about 3 times the volume of the ingested meal. The evaluation of the results in cumulated produced volumes, enables us, through the simplification of the curves, to suspect the influence of the volume of the ration, calculated from the semi-evacuation time and also the influence of the interval between the meals.

A qualitative analysis of results is then made by calculation on computer, using on the one hand stepwise multiple regression in order to define a possible simple model, and on the other hand applying polynomial regression in order to determine an equation of the curve the nearest possible to that observed. The attempts to define a simple logarithmic model proved illusory and the efficiency of the process to catch some experimental effect very low. On the other hand, the polynomial regression allows, in most cases, the adjustment of the phenomenon to a 3rd degree polynomial. The calculation shows the erroneous character of the average of different trials. The

gastro-duodenal emptying expressed by the cumulates produced volume at the pylorus level is in agreement with the equation $y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$. A variance analysis is carried out on the polynomial regression coefficient (b_0, b_1, b_2, b_3) of the different trials and on the coordinates (x_i, y_i) of the inflexion point of the curve. The inflexion point may in any case be superimposed with the beginning of the experimental meal. A highly discriminative analysis is possible using the regression coefficients; it reveals the existence of characteristics particular to each animal, and the remarkable constancy of the phenomenon in the same subject. The difference observed depending upon the meal time, and considered as the effect of the residual digestive repletion, led us to attribute a meaning to each regression coefficient, the physiological interpretation of which is discussed in this paper. The coefficient b_0 expresses either a favourable or an unfavourable tendency to evacuation depending upon the state of emptiness or repletion of the proximate portions of the small intestine. b_1 expresses the initial rate of the phenomenon according to a greater or smaller previous gastric repletion, whereas b_2 reflects the importance of the inhibition of intestinal origin of the gastric emptying activity. The b_3 coefficient accounts for the asymmetry of the curve on both sides of the inflexion point and this synthetically expresses the various factors concerned.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASH R. W., 1961. Acid secretion by the abomasum and its relation to the flow of food material in sheep. *J. Physiol.* Londres, **156**, 93-111.
- ASH R. W., 1962. Gastro intestinal re-entrant cannulae for studies of digestion in sheep. *Anim. Prod.*, **4**, 309-312.
- AUFFRAY P., MARTINET J., RÉRAT A., 1967. Quelques aspects du transit gastro-intestinal chez le Porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **7**, 261-279.
- CUNNINGHAM H. M., FRIEND D. W., NICHOLSON J. W. G., 1962. Note on a re-entrant fistula for digestion studies with pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, **42**, 112-113.
- DRAPER N. R., SMITH H., 1966. *Applied regression analysis*. John Wiley Ed., New York, 407 p.
- GOODALL E., KAY R. N. B., 1962. Digestion and absorption in the large intestine of the sheep. *XXII^e Int. Physiol. Congr.*, Leiden, n° 419.
- GREGORY R. A., 1950. Some factors influencing the passage of fluid through intestinal loops in dogs. *J. Physiol.*, Londres, **111**, 119-137.
- HOPKINS A., 1966. The pattern of gastric emptying: a new view of old results. *J. Physiol.*, Londres, **182**, 144-149.
- HUNT J. N., 1963. The duodenal regulation of gastric emptying. *Gastroenterology.*, **45**, 149-156.
- HUNT J. N., SPURRELL W. R., 1951. The pattern of emptying of the human stomach. *J. Physiol.* Londres, **113**, 157-168.
- HUNT J. N., MACDONALD I., 1954. The influence of volume on gastric emptying. *J. Physiol.*, Londres, **126**, 459-474.
- HUNT J. N., KNOX M. T., 1968. Regulation of gastric emptying, in *Handbook of Physiology*, Section 6: Alimentary Canal. Vol. 4: Motility. American Physiological Society Ed., Washington
- ISHIKAWA S., FURUICHI Y., 1968. Reliability of polyethyleneglycol as an indicator for digestion studies with swine. Part II. Variation of polyethylene glycol excretion and estimate of digestibility. *Agric. Biol. Chem.*, **32**, 1086-1092.
- KIDDER D. E., MANNERS M. J., MCCREA M. R., OSBORNE A. D., 1968. Absorption of sugars by the piglet. *Br. J. Nutr.*, **22**, 501-514.
- MAC RAE J. C., ARMSTRONG D. G., 1969. Studies on intestinal digestion in the sheep. I. The use of chromic oxide as an indigestible marker. *Br. J. Nutr.*, **23**, 15-23.
- MARBAIX O., 1898. Le passage pylorique. *Cellule*, **14**, 249-332.
- NIELSEN K., 1965. Preparation of isolated intestinal loops in calves (danois) *Nord. Vet. Med.*, **17**, 346-358.
- NOAKES D. E., HILL K. J., FREEMAN C. P., ANNISON E. F., 1967. The flow of intestinal digesta in the pig. *Proc. Nutr. Soc.*, **26** (Abstr).
- REES D. H., 1966. The analysis of variance of designs with many non-orthogonal classifications. *J. R. Statist. Soc. B*, **28**, 110-117.
- RÉRAT A., LOUGNON J., 1963. Études sur le transit digestif chez le Porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3** (hors série), 21-27.
- SIKOV M. R., THOMAS J. M., MAHLUM D. D., 1969. Comparison of passage of a tracer through the gastro intestinal tract of neo natal and adult rats. *Growth*, **33**, 57-68.
- SPURRELL W. R., 1935. Duodenal reflexes. *J. Physiol.* Londres, **84**, 4-5.
- THOMAS J. E., CRIDER J. O., MORGAN J., 1934. A study of reflexes involving the pyloric sphincter and antrum and their role in gastric evacuation. *Am. J. Physiol.*, **108**, 683-700.