EFFICACITÉ DE QUELQUES PROTIDES ALIMENTAIRES CHEZ LE PORC

I. — EXCRÉTION D'AZOTE MÉTABOLIQUE FÉCAL ET ENDOGÈNE URINAIRE : INFLUENCE DU NIVEAU D'INGESTION DE MATIÈRE SÈCHE, DU POIDS CORPOREL, DE L'ÂGE ET DE L'INDIGESTIBLE.

S. Z. ZELTER et Geneviève CHARLET-LERY

avec la collaboration technique de B. DUPONT, Janine LABORIE, Marie-Thérèse MOREL.

*Laboratoire de Recherches de Zootechnie,
Institut National Agronomique, Paris.*

SOMMAIRE

La mesure précise de la valeur biologique d'un protide implique une estimation rigoureuse des pertes endogènes d'azote. Devant l'incohérence des données existantes une tentative est faite afin de définir, au cours d'une étude préliminaire, la nature exacte des termes qui relient :

d'une part :

— poids de l'animal, niveau d'ingestion de matière sèche, indigestible total et N métabolique fécal ;

d'autre part :

— poids de l'animal, niveau d'ingestion de matière sèche, âge et N endogène urinaire.

Entre 1954 et 1958, 58 observations sont enregistrées sur 29 porcs pesant entre 22 et 110 kg. Les animaux maintenus en inanition azotée sont alimentés *ad libitum*. Un régime protéoprive dosant 0,032 de N Kjeldahl % de matière sèche est utilisé. Les périodes de déplétion azotée ont une durée minimum de 18 jours, dont les 8 derniers servent à l'établissement des bilans.

L'azote métabolique fécal est une fonction :

— semi-logarithmique de la matière sèche ingérée ;

— linéaire de la matière sèche fécale.

L'estimation des pertes métaboliques d'azote à partir de cette dernière variable paraît d'autant plus correcte qu'elle est indépendante de l'état de réplétion et du poids corporel.

Avec un régime renfermant en moyenne 8 % de papier filtre, le porc excrète $0,194 \text{ g} \pm 0,004$ d'azote métabolique fécal par 100 g de matière sèche ingérée ou $1,223 \text{ g} \pm 0,032$ par 100 g de matière sèche fécale.

Le taux d'indigestible apparent du régime influence directement et notablement la dépense métabolique, d'où la nécessité de maintenir un même taux de cellulose pendant les phases de déplétion et de réplétion azotée.

La perte journalière moyenne de N endogène urinaire, exprimée en mg, s'élève à 134,5. $P^{0,70}$ L'état de réplétion l'influence faiblement. Cette dépense s'abaisse régulièrement avec l'âge.

La mesure précise de la valeur biologique d'un protide nécessite une détermination des dépenses endogènes de chaque animal étant donné l'amplitude des variations individuelles.

INTRODUCTION

La fixation de l'apport azoté minimum compatible avec un rendement zootechnique maximum, suppose une connaissance de l'aptitude des diverses sources alimentaires à satisfaire les besoins qualitatifs d'azote, l'efficacité métabolique étant fonction à la fois de la nature du protide, et du traitement technologique subi.

Le présent mémoire relate des résultats extraits d'une recherche à long terme, poursuivie de 1954 à 1958, afin de comparer la valeur biologique de quelques protides utilisés dans l'alimentation du porc : farine de luzerne, farine de poisson, farine de viande de baleine, poudre de lait écrémé, tourteau d'arachide.

La mesure rigoureuse de la valeur biologique par la méthode du bilan azoté implique une détermination non moins précise de la dépense azotée endogène de l'organisme animal. Selon TERROINE (1933) cette dépense représente un élément « ... constant, puisque dans l'inanition protéique les quantités quotidiennes rejetées restent les mêmes. Nécessaire, la perte se produisant quel que soit le type d'alimentation ingérée. Spécifique, car la dépense ne peut être compensée que par l'offre d'une quantité correspondante de matière azotée ». Des causes multiples étant susceptibles de l'influencer, l'auteur se demande « si certaines conditions ne doivent point être respectées pour atteindre la valeur minima de la dépense azotée, pour évaluer sur la base de ce minimum de dépense la grandeur du besoin azoté réel ».

Les données relatives à la grandeur de la perte endogène d'azote urinaire chez le porc, animal sur lequel sont entreprises nos recherches, concordent d'une façon satisfaisante ; en revanche, celles concernant l'excrétion métabolique d'azote fécal sont incohérentes ; une connaissance incomplète des facteurs susceptibles de l'influencer en est vraisemblablement la cause.

Nous ne ferons que rappeler l'action sur l'excrétion d'azote métabolique fécal, de la nature des aliments énergétiques (une proportion élevée de corps gras dans un régime protéoprive accroît la dépense) des minéraux, des facteurs vitaminiques. Mais nous insisterons sur l'intervention d'autres causes de variation.

A priori, il est concevable qu'une ingestion élevée de matières sèches en accroissant dans le tractus gastro-intestinal le volume des sécrétions digestives, l'usure épithéliale et la micropopulation, aient pour conséquence une augmentation de la perte d'azote métabolique. Selon SCHNEIDER (1935), celle-ci est constituée chez le porc et le rat de deux fractions distinctes : l'une, variable avec la quantité de matière sèche consommée, l'autre constante, sans doute d'origine véritablement excrétoire ; le poids de l'animal représenterait donc un élément à considérer. MITCHELL (1923) met le premier en évidence chez le rat, en même temps que l'influence du niveau de consommation de matière sèche, celle de la charge cellulosique. MUKHERJEE et KEHAR (1949) expérimentant sur bœuf, BLAXTER et WOOD (1951) travaillant sur veau, sont d'avis que la relation de l'azote métabolique fécal est beaucoup plus étroite avec la matière sèche excrétée qu'avec celle ingérée.

Le rôle plus ou moins précisé de ces multiples facteurs explique la dispersion des valeurs de dépense d'azote métabolique relevées pour le porc, comme le montre le tableau récapitulatif (tableau 1) dont certaines données sont empruntées à ARMS-TRONG et MITCHELL (1955).

La variabilité des états nutritionnels et des conditions expérimentales (durée des

périodes, poids des animaux, alimentation restreinte ou *ad libitum*, taux de cellulose et de matières grasses, absence ou présence de certains facteurs) et l'individualité des sujets d'expérience sont pour beaucoup à l'origine de ces écarts.

TABLEAU I

Azote métabolique fécal par 100 g de matière ingérée selon divers auteurs

Méthode de détermination	g N métabolique fécal pour 100 g M. S.* ingérée	Auteurs
Compilation de la littérature	0,200	MITCHELL (1926)
Détermination directe	0,096	SCHIFTAN (1932)
id.	0,110	MITCHELL et HAMILTON (1931) } dans ARMSTRONG et MITCHELL (1955)
id.	0,092	MITCHELL et KICK (1927)
id.	0,076	MITCHELL et HAMILTON (1933)
Équation de régression	0,063	SCHNEIDER (1935)
id.	0,180	BELL et al. (1950)
id.	0,188	COLUMBUS (1950)
Détermination directe	0,189	id.
id.	0,155	NEHRING (1940) } dans COLUMBUS (1950)
id.	0,116	ARMSTRONG et MITCHELL (1955)
(N ingéré 0,76 %)		
Équation de régression	0,091	id.
(N ingéré nul)		
Détermination directe	0,151	HENNING (1959)

* M. S. = Matière sèche.

En bref, on relève une nette divergence concernant le rapport possible entre état nutritionnel, et perte d'azote métabolique par voie digestive. Quant à la dépense endogène urinaire, elle serait sous l'influence du niveau énergétique.

On est conduit, dès lors, à s'interroger sur la nature exacte des termes qui relient :

— poids de l'animal, ingéré total de matière sèche, indigestible total, et azote métabolique fécal lors du jeûne azoté, (vu les variations individuelles inévitables dans le niveau de consommation alimentaire dûes à la faible appétibilité des régimes protéiques) ;

— niveau énergétique, poids corporel, âge et excrétion de N endogène urinaire.

MATÉRIEL, et MÉTHODES

De l'avis de TITUS (1927), le calcul de N métabolique fécal par extrapolation au point d'ingéré azoté nul, d'une droite de régression obtenue à partir des excréments relevées pour un régime dont on fait varier le niveau protéique, serait très précis et éviterait les inconvénients physiologiques du jeûne protéique. La mesure directe de la dépense azotée endogène en inanition azotée, est cependant plus rapide. SCHIFTAN (1932), COLUMBUS (1950), MITCHELL et BERT (1954), ARMSTRONG et MITCHELL (1955) ayant expérimenté parallèlement les deux techniques trouvent des résultats qui ne diffèrent pas significativement ; ils préfèrent la seconde de ces méthodes que nous avons également jugé mieux adaptée à l'objet de notre étude.

A. — MATÉRIEL ANIMAL

Les observations sont faites sur 29 porcs mâles, castrés, de race Large White, ou croisée Large White × Danois. Dans chaque essai, sauf un, les animaux proviennent de la même portée ou du même verrat. Les bilans d'azote sont établis à des poids vifs variables (22 à 110 kg) avec le moment où se situe la (ou les) période de jeûne protéique dans le plan expérimental.

B. RÉGIME ALIMENTAIRE

Un régime protéoprive standard est utilisé ; il dose en moyenne 0,032 (0,021 à 0,047) de N Kjeldahl % de matière sèche. Il comporte en pourcentage :

Amidon éclaté de maïs (amijel)	54-50-48 ou 46
Cérélose	27
Sucre blanc de betterave	4
Poudre de papier filtre	4-8 -10 ou 12
Huile brute de maïs (riche en tocophérols)	3
Mélange minéral (1)	8

Les vitamines sont introduites dans la ration journalière, en solution huileuse fournissant 2.500 U. I. de A et 330 U. I. de D₂, en solution aqueuse apportant le complexe B et le facteur C (2).

L'aliment est distribué en deux repas journaliers à l'état de bouillie, après homogénéisation au mixeur avec 3,5 fois son poids d'eau distillée. Les consommations effectives de nourriture sont rigoureusement mesurées à chaque repas.

C. NIVEAU D'INGESTION DE MATIÈRE SÈCHE

La dépense endogène « spécifique » correspondant, d'après TERROINE (1933), à la perte azotée inéluctable d'un organisme en équilibre de poids dont tous les besoins, autres que celui d'azote, sont couverts, sa mesure doit être effectuée de manière à réduire au minimum les causes qui peuvent l'influencer ; autrement dit, il y a lieu de placer l'animal au niveau de son métabolisme énergétique de base. Pour COLUMBUS (1950) la faim inhérente à un tel état est susceptible de perturber durant les périodes de réplétion azotée l'évolution de la croissance, au point d'entraîner une stagnation de la formation tissulaire, préjudiciable à la santé de l'animal. Il trouve préférable de faire consommer à satiété des corps ternaires pendant le jeûne protéique et de déterminer la dépense azotée endogène minima, non pas « absolue » mais « relative », dont il tient compte lors du calcul de la valeur biologique. Plus récemment, ARMSTRONG et MITCHELL (1955), WHITING et BEZEAU (1957) pratiquent en inanition azotée une alimentation restreinte dépassant toutefois largement les besoins énergétiques du métabolisme basal strict.

Pour calculer la valeur biologique d'un protide, les pertes métaboliques et endogènes sont déduites des valeurs enregistrées sur des sujets en état de réplétion azotée, généralement nourris à discrétion. L'excrétion de N métabolique fécal est cependant fortement influencée par la quantité de matière sèche consommée. Vu l'objet de notre étude (recherche de la meilleure relation existante au cours du jeûne protéique entre azote métabolique fécal et divers éléments reflétant le niveau énergétique) il nous paraît plus logique d'évaluer la dépense azotée « relative » plutôt que la perte minima théorique « absolue ».

En conséquence, nos animaux sont nourris selon leur capacité individuelle d'ingestion afin d'assurer un apport d'énergie aussi voisin que possible du besoin normal.

D. TECHNIQUE DE COLLECTE DES EXCRETA ET DE BILAN MÉTABOLIQUE

Chaque porc est placé dans une cage individuelle de métabolisme. Il porte un dispositif mis spécialement au point par nous et assurant une séparation absolue des émissions urinaires et fécales. L'appareil en forme d'entonnoir confectionné en toile imperméable est fixé au corps par des sangles. Il est pourvu à sa base d'un embout métallique auquel adhère un tuyau

(1) Composition centésimale :

CaHPO₄, 2H₂O : 55 ; Ca CO₃ : 20 ; NaCl : 7,5 ; Mg CO₃ : 7,5 ; Mg SO₄ : 6,0 ; K₂CO₃ : 1,8 ; Fe SO₄, 7H₂O : 1,5 ; KI : 0,47 ; Cu SO₄, 5H₂O : 0,17 ; CO (NO₃)₂, 6H₂O : 0,03 ; Mn SO₄ : 0,03.

(2) Il a été procuré par kg de matière sèche ingérée : thiamine : 3,3 mg, riboflavine : 3,3 mg ; ac. nicotinique : 11,0 mg ; pantothenate de Ca : 17,7 mg ; pyridoxine : 5,5 mg ; inositol : 9,0 mg ; biotine : 0,15 mg ; ac. folique : 5,0 mg ; acide paraminobenzoïque : 20,0 mg ; B12 : 9,0 ; chlorhydrate de choline : 2,0 g ; acide ascorbique : 73,0 mg.

Dispositif d'une cage à métabolisme

Schéma I.

1) Animal porteur de l'appareil.

2) Patron de coupe de l'appareil.
En A et B, pli creux de 8 cm de large, cousu dans la sangle et formant entonnoir.

3) Montage de l'embout métallique formant le fond de l'entonnoir de la banninette :

- a) embout de laiton ;
- b) joints de caoutchouc ;
- c) toile caoutchoutée de la banninette ;
- d) tuyau de caoutchouc ;
- e) partie mobile ;
- f) raccord « union » étanche ;
- g) partie fixe ;
- h) serre tuyau.

en caoutchouc. Ce dernier est relié à la conduite d'évacuation de l'urine vers un flacon collecteur par un raccord « Union » étanche ; tournant sur lui-même, celui-ci laisse à l'animal l'entière liberté de ses déplacements et empêche toute torsion du tuyau de caoutchouc dont la rigidité suffit à transmettre les mouvements de rotation.

Les émissions fécales et urinaires sont pesées quotidiennement. Les premières, recueillies fréquemment dans la journée, sont aspergées d'une solution de SO_4H_2 à 10 % qui évite des fermentations éventuelles. Pour la même raison, les secondes sont collectées dans un flacon renfermant 10 cc de la même solution qui ramène le pH du milieu aux environs de 2-2,5.

Chaque jour, la totalité des matières fécales est homogénéisée au hachoir à viande ; une partie aliquote est séchée en tunnel infra-rouge à 70° jusqu'à poids constant pour déterminer l'humidité. Le dosage d'azote est effectué sur les échantillons individuels d'urine et de matières fécales de 48 heures prélevés proportionnellement aux excréctions journalières et conservés à l'état frais en réfrigérateur.

La technique du micro-Kjeldahl est utilisée pour déterminer l'azote sur une prise d'essai de 10 g de bouillie alimentaire, ou de matières fécales fraîches, d'où les poils sont soigneusement enlevés, et sur 10 cc d'urine. La minéralisation est effectuée en présence d'un catalyseur à l'oxyde rouge de mercure.

Le distillat d'une partie aliquote de la liqueur minéralisée est recueilli dans une solution d'acide borique à 1 % renfermant comme indicateurs du vert de bromocrésol et du rouge de méthyl ; le titrage est fait avec du $\text{HCl N}/50$.

La durée de chaque période de collecte et de bilan est de 8 jours ; des observations préliminaires ayant permis de constater que les concentrations de N métabolique fécal et de N endogène urinaire se régularisent à partir du 5^e-7^e jour du jeûne protéique (fig. 1), le début des périodes de collecte est fixé pour plus de sûreté au 11^e jour de la déplétion azotée.

FIG. 1 — Évolution des émissions fécales et urinaires d'azote après suppression de l'azote dans le régime (moyenne de 2 porcs).

RÉSULTATS

Les mesures effectuées au cours de 15 expériences avec 29 sujets dont certains participent à plusieurs d'entre elles, sont données sous forme de moyenne journalière périodique pour chaque animal dans le tableau 2. La teneur du régime en papier

filtre est d'ordinaire 8 p. 100, sauf pour les sujets O. P. Q. R. qui, dans les expériences XII, XIII, et XIV en ont reçu successivement 4,8 et 12 p. 100 selon le principe des régimes tournants (voir tableau page suivante).

L'appétibilité du régime protéiprive est relativement bonne tant que l'épreuve ne dépasse pas un mois. Lorsque celle-ci se prolonge davantage (expériences XII, XIII, XIV p. ex.), l'appétit des animaux s'abaisse. La plupart des sujets gagnent un peu de poids pendant les périodes de bilan, quelques-uns cependant maigrissent légèrement.

DISCUSSION

A — EXCRÉTION DE L'AZOTE MÉTABOLIQUE FÉCAL

a) *Effet du niveau d'ingestion de matière sèche.*

Rappelons que les animaux sont alimentés à discrétion. Or, pour GUILBERT et LOOSLI (1949) « la consommation totale d'énergie serait relativement constante

FIG. 2 — Influence de la matière sèche ingérée sur l'azote métabolique fécal.

avec les besoins de l'entretien ou la dépense calorique basale. Si cela était vrai, la capacité totale d'ingestion de nourriture serait liée à la même puissance du poids vif

TABLEAU 2

Bilan d'ingesta et d'excreta (Moyenne périodique par jour et par animal)

Animal Poids kg	M. S. i* g	Papier filtre dans le régime %	M. S. i P _{0,70} g	M. S. fécale totale g	Indigest. fécal apparent % M. S. ing.	N fécal % M. S. ing.	N fécal % M. S. fécale	N fécal total g	N urin.* total g	N urin P _{0,70} mg
<i>Expérience I-1954:</i>										
D-22,4	804	8	91,2	103,2	12,8	0,173	1,340	1,406	1,524	173,0
E-22,2	914	8	104,3	162,2	17,7	0,183	1,048	1,674	1,690	193,0
<i>Expérience II-1954:</i>										
D-34,0	1 297	8	109,9	166,0	12,8	0,175	1,370	2,264	1,672	141,7
E-33,4	1 140	8	97,7	190,5	16,7	0,196	1,170	2,233	1,839	157,7
F-26,5	1 112	8	112,2	193,0	17,4	0,216	1,236	2,403	1,448	146,1
<i>Expérience III-1954:</i>										
D-51,1	1 460	8	93,0	171,4	11,7	0,200	1,625	2,915	2,114	134,6
E-49,5	1 458	8	95,0	241,4	16,6	0,191	1,160	2,779	1,850	120,5
F-39,8	1 277	8	96,9	234,6	18,4	0,224	1,219	2,861	1,868	141,7
<i>Expérience IV-1954:</i>										
D-67,3	1 778	8	93,4	207,0	11,6	0,147	1,266	2,617	1,981	104,0
E-64,0	1 778	8	96,7	298,5	16,8	0,133	0,794	2,357	1,926	105,0
F-55,8	1 692	8	101,3	295,5	17,5	0,160	0,923	2,700	1,822	109,1
<i>Expérience V-1954:</i>										
D-68,1	1 184	8	61,7	111,5	10,2	0,183	1,819	2,176	1,772	92,3
E-64,7	1 006	8	54,3	96,2	10,0	0,130	1,736	1,310	1,551	84,0
F-55,0	798	8	48,2	137,4	17,2	0,192	1,086	1,534	1,662	100,5
<i>Expérience VI-1955:</i>										
K-39,5	1 194	10	91,1	201,6	16,9	0,206	1,240	2,466	1,672	127,5
L-39,5	1 407	10	107,3	259,2	18,4	0,202	1,052	2,836	1,474	112,4
L-49,5	1 786	10	116,3	353,6	19,8	0,186	0,934	3,312	2,372	154,5
M-45,3	1 707	10	118,3	329,0	19,3	0,189	0,982	3,219	2,118	146,8
N-44,2	1 624	10	114,5	322,6	19,9	0,187	0,932	3,031	1,966	138,6
<i>Expérience VII-1955:</i>										
K-63,6	1 120	8	61,2	191,5	17,1	0,171	1,010	1,917	2,072	113,2
L-77,5	2 111	8	100,5	341,2	16,2	0,160	1,012	3,375	2,496	118,8
M-73,4	1 652	8	81,7	299,0	18,1	0,192	1,072	3,172	2,757	136,3
N-72,1	1 598	8	80,0	258,5	16,2	0,188	1,199	2,999	2,637	132,0
<i>Expérience VIII-1957:</i>										
A-36,7	1 373	8	110,3	203,3	14,8	0,198	1,322	2,717	2,079	167,0
Z-28,4	978	8	93,9	135,5	13,9	0,228	1,653	2,228	2,068	198,6
X-31,8	964	8	85,6	144,2	15,0	0,192	1,330	1,872	1,687	149,8
Y-23,7	603	8	65,8	92,9	15,4	0,214	1,401	1,293	1,047	114,1
<i>Expérience IX-1957:</i>										
Am-30,1	818	8	75,5	162,4	19,9	0,227	1,164	1,855	1,478	136,3
Cm-29,7	903	8	84,1	181,6	20,1	0,226	1,113	2,045	1,585	147,6
Dm-25,1	861	8	90,3	167,8	19,5	0,232	1,190	1,993	1,576	165,1
Em-32,8	980	8	85,1	206,5	21,1	0,200	0,952	1,960	1,774	154,1
<i>Expérience X-1958:</i>										
Fb-101,1	2 382	8	94,1	407,5	17,1	0,137	0,799	3,253	3,085	121,9
Gb-110,3	2 580	8	95,9	413,0	16,0	0,157	0,991	4,054	3,253	120,9
Kb-101,4	2 298	8	90,6	428,5	18,6	0,163	0,875	3,743	3,445	135,8
Ib-98,9	2 378	8	95,4	363,7	15,3	0,142	0,932	3,378	2,748	110,2
<i>Expérience XI-1958:</i>										
Lm-25,8	864	8	88,8	136,0	15,7	0,223	1,416	1,925	1,121	115,2
Mm-24,7	689	8	73,0	109,1	15,8	0,216	1,362	1,486	1,120	118,6
Om-27,5	898	8	88,3	126,3	14,1	0,200	1,422	1,797	1,234	121,3
Pm-21,9	585	8	67,4	86,5	14,8	0,207	1,399	1,211	0,909	104,7
Qm-28,0	927	8	89,9	148,0	16,0	0,200	1,254	1,856	1,131	109,7

* M. S. i = Matière sèche ingérée. N urin. = Azote urinaire.

TABLEAU 2 (suite)

Animal Poids kg	M. S. i* g	Papier filtre dans le régime %	MSi P ^{0,70} g	M. S. fécale totale g	Indigest. fécal apparent % M. S. ing.	N fécal % M. S. ing.	N fécal % M. S. fécale	N fécal total g	N urin.* total g	N urin P ^{0,70} mg
<i>Expérience XII-1956 :</i>										
O-44,9	1 331	4	92,8	162,0	12,2	0,208	1,769	2,771	2,465	171,9
P-40,8	851	4	63,4	89,4	10,5	0,163	1,529	1,384	1,768	131,8
Q-43,2	1 335	8	95,6	243,0	18,2	0,227	1,257	3,033	2,570	184,1
R-44,7	1 223	12	85,5	266,7	21,9	0 269	1,244	3,292	2,596	181,5
<i>Expérience XIII-1956 :</i>										
O-45,5	1 086	8	75,0	176,5	16,4	0,200	1,233	2,176	2,163	149,5
P-38,9	747	8	57,6	137,2	18,4	0,244	1,364	1,825	1,818	140,2
Q-44,6	1 109	12	77,7	235,1	21,2	0,189	0,892	2,095	2,088	146,3
R-43,3	1 085	4	77,6	146,6	13,5	0,178	1,315	1,927	1,972	141,1
<i>Expérience XIV-1956 :</i>										
O-46,2	639	12	43,7	119,7	18,7	0,239	1,282	1,530	1,540	105,3
P-38,8	732	12	56,5	170,4	23,3	0,213	0,921	1,560	1,817	140,3
Q-47,5	787	4	52,7	114,0	14,5	0,177	1,213	1,394	1,669	111,9
R-45,3	736	8	51,0	126,4	17,2	0,184	1,064	1,350	1,707	118,3
<i>Expér. VIII bis-1957 : (1)</i>										
Y-24,8	999	8	105,6	132,3	13,2	0,217	1,681	2,169		
X-30,9	1 177	8	106,9	170,9	14,6	0,187	1,292	2,206		
A-37,3	1 091	8	86,6	177,6	16,3	0,191	1,174	2,087		
Z-28,1	781	8	75,6	124,5	16,0	0,223	1,416	1,743		
Y-24,3	710	8	76,1	115,3	16,2	0,203	1,248	1,438		
A-36,4	972	8	78,5	128,5	13,2	0,165	1,250	1,603		
<i>Moyenne</i>	<i>1 213</i>					<i>0,194</i> <i>± 0,004</i>	<i>1,223</i> <i>± 0,032</i>			<i>134,5</i> <i>± 3,6</i>

* M. S. i = Matière sèche ingérée. N urin. = Azote urinaire.

(1) Cette expérience concerne des sujets privés de choline.

que le métabolisme basal ». En admettant cette hypothèse, le rapport $\frac{MSi}{P_x}$ représenterait l'état de réplétion du tube digestif. En accord avec BRODY (1945), le terme P^{0,70} est adopté en l'occurrence comme poids « physiologique » de l'animal (conventionnellement le terme P^{0,70} sera désigné sous le vocable de « taille métabolique »).

La quantité absolue de matière sèche ingérée, et l'état de réplétion $\left(\frac{MSi}{P^{0,70}}\right)$ expriment tous les deux le niveau d'ingestion ; le second mode d'expression rend plus aisée la comparaison entre individus de poids variable.

La répartition graphique des résultats fait ressortir l'absence de linéarité entre niveau d'ingestion de matière sèche et masse totale d'azote métabolique fécal (fig. 2). Le calcul montre l'existence d'une corrélation très élevée et significative entre azote métabolique fécal (y) et le logarithme des quantités de matières sèches ingérées correspondantes (log x) : $r = + 0,918 \pm 0,021$. La relation qui lie ces deux variables est donc une fonction semi-logarithmique qui a pour équation

$$y = 4,057 \log x - 10,240 \text{ (I).}$$

Une liaison semi-logarithmique existe également entre la masse de N métabolique

fécal (N. m. f.) et l'état de réplétion $\left(\frac{MSi}{P^{0,70}}\right)$ mais le coefficient de corrélation est nettement moins élevé

$$r = + 0,675 \pm 0,071.$$

A première vue, il semble que l'état de réplétion du tube digestif influence moins la déperdition de N. m. f. que la masse globale de matière sèche consommée. Ceci est corroboré par la très faible corrélation non significative qui lie N. m. f. et M. S. i. exprimés l'un et l'autre en fonction de la « taille métabolique » ($P^{0,70}$) :

$$r = 0,255 \pm 0,130.$$

FIG. 3 — Relation entre azote métabolique fécal et matière sèche fécale.

En revanche, N. m. f. est une fonction linéaire parfaite de la masse totale de l'indigestible fécal (fig. 3) :

$$y = 0,07 x + 0,850 \quad (2) \quad \text{où } x = \text{indigestible fécal} \\ y = \text{N. m. f.}$$

Le coefficient de corrélation correspondant est très élevé et hautement significatif :

$$r = + 0,900 \pm 0,025.$$

L'absence de proportionnalité rigoureuse entre N. m. f. et M. S. i. pourrait s'expliquer par l'intervention du facteur individuel d'utilisation digestive. Comme

par ailleurs, le coefficient de digestibilité de la matière sèche d'un même régime peut différer notablement en l'absence et en présence d'azote, l'évaluation de N. m. f. en fonction de l'indigestible fécal éviterait lors du calcul de la valeur biologique d'un protide des erreurs dûes à une variation de la digestibilité ; ce qui ne serait pas le cas si cette estimation était effectuée par rapport à la matière sèche ingérée.

Un raisonnement différent conduit MUKHERJEE et KEHAR (1949) à proposer le même mode d'expression pour le bœuf; MEYER (1956) considère également la matière sèche fécale plus satisfaisante que la matière sèche ingérée comme base d'évaluation de N. m. f. du rat.

Cette base d'évaluation paraît d'autant plus correcte qu'il y a absence de corrélation entre perte de N. m. f. par unité de M. S. i. ou d'indigestible fécal et état de réplétion :

pour	N. m. f. % M. S. i. — M. S. i/P ^{0,70}	$r = - 0,101 \pm 0,130$
pour	N. m. f. % M. S. f — M. S. i/P ^{0,70}	$r = + 0,208 \pm 0,126$

Nous pensons donc, d'accord avec COLUMBUS (1950), que chez le porc, le maintien du niveau énergétique à la stricte dépense basale ne s'impose pas pour mesurer correctement l'excrétion d'azote métabolique fécal, en vue d'une estimation de la valeur biologique d'un protide, l'alimentation *ad libitum* en régime protéoprive ne perturbant pas ladite mesure. Par ailleurs, un niveau énergétique différent en périodes de déplétion et de réplétion azotée, ne risque pas de la fausser.

Au cours de nos expériences (58 mesures individuelles) la dépense de N. m. f. par 100 g de M. S. i. est en moyenne de 0,194 g $\pm$ 0,004 (tableau 2) pour un régime renfermant en moyenne 8 p. 100 de papier filtre. ARMSTRONG et MITCHELL (1955) trouvent pour 12 mesures directes 0,114 g avec un taux de cellulose de bois de 7 p. 100; avec un régime à 5 et 10 p. 100 de cellulose Solka-Floc, WHITING et BEZEAU (1957) observent 0,120 g. Nos valeurs très groupées, nettement plus élevées que celles des auteurs précités, sont en accord avec les données rapportées par BELL et al. (1950) : 0,180 g, COLUMBUS (1950) : 0,189 g et la moyenne citée par ARMSTRONG et MITCHELL (1955) après compilation de la littérature : 0,200 g.

L'excrétion de N. m. f. par 100 g d'indigestible fécal est en moyenne de 1,223 g $\pm$ 0,032 pour un niveau moyen de consommation de 1213 g de matière sèche (tableau 2). L'examen de l'équation de régression (2) qui lie N. m. f. et indigestible fécal suggérerait l'existence d'une fraction de N. m. f. d'origine rigoureusement excrétoire qui serait de 0,850 g pour une émission fécale théorique nulle. L'accroissement de la dépense de N. m. f. dû au bol alimentaire protéoprive est de 0,7 g par 100 g d'indigestible fécal. L'existence d'une fraction d'origine strictement excrétoire est signalée chez plusieurs espèces animales et pour le porc par SCHNEIDER (1935).

L'intérêt de cette notion est purement spéculatif, l'état physiologique du tube digestif d'un animal maintenu à un jeûne rigoureux ne ressemblant pas à celui du même animal alimenté.

b) Influence du poids

Il existe une corrélation positive notable et identique entre N. m. f. et poids (P) ou « taille métabolique » (P^{0,70}) :

N. m. f. — P	$r = + 0,654 \pm 0,075$
N. m. f. — P ^{0,70}	$r = + 0,653 \pm 0,075$

Le fait, en soi, est parfaitement logique puisqu'il est constaté précédemment que la masse de N. m. f. est sous la dépendance de la quantité de matière sèche consommée. Or, pour un animal alimenté selon son appétit, cette dernière est essentiellement fonction du poids corporel.

Le rapport entre N. m. f. p. 100 M. S. i. et poids ou $P^{0,70}$ est caractérisé par des coefficients négatifs de corrélation également similaires et voisins des précédents :

$$\text{N. m. f. } \% \text{ M. S. i.} - P \quad r = - 0,615 \pm 0,082$$

$$\text{N. m. f. } \% \text{ M. S. i.} - P^{0,70} \quad r = - 0,613 \pm 0,082$$

Les équations de régression des 2 droites correspondant à ces derniers coefficients sont respectivement de :

$$y = - 0,001 x + 0,231 \quad (3)$$

$$y = - 0,004 x + 0,249 \quad (4) \quad \text{où} \quad x = P \text{ ou } P^{0,70}$$

$$y = \text{N. m. f. } \% \text{ M. S. i.}$$

Elles indiquent que la quantité de N. m. f. par 100 g de matière sèche ingérée diminue de 1 mg ($- 0,4$ p. 100) pour chaque kg d'augmentation de poids ou de 4 mg ($- 1,6$ p. 100) pour chaque unité d'accroissement de $P^{0,70}$.

WHITING et BEZEAU (1957) signalent l'existence d'une corrélation négative entre N. m. f. p. 100 M. S. i. et le poids corporel (kg) élevé à la puissance 0,3, mais plus forte que la nôtre ($r = - 0,89$) ; ils observent pour chaque accroissement d'unité de $P^{0,30}$ une diminution de la dépense de N. m. f. p. 100 M. S. i. de 0,12 g. A priori, le poids semble exercer une influence sur l'excrétion de N. m. f.

Or, le calcul de la double corrélation qui lie N. m. f., M. S. f. et poids, donne une valeur $r = + 0,902$, contre $r = 0,900 \pm 0,025$ pour la corrélation simple entre N. m. f. et M. S. f. ; la corrélation entre N. m. f. p. 100 M. S. f. et poids étant inexistant ($r = + 0,039 \pm 0,131$) cela signifie que la concentration de la masse fécale en azote métabolique est indépendante de la variable poids.

En conséquence, l'estimation de l'excrétion de la perte de N. m. f. en fonction de M. S. f. évite l'interférence du facteur poids qui intervient lorsque l'estimation s'effectue par rapport à M. S. i.

c) Influence de l'indigestible fécal

De nombreux auteurs, [MITCHELL (1923), SCHNEIDER (1935), MUHKERJEE et KEHAR (1949), MEYER (1956)] signalent l'action possible de la richesse en l est du régime protéoprive sur la dépense de N métabolique fécal chez le rat, le porc et le bœuf.

Dans les expériences XII, XIII et XIV les sujets O, P, Q, et R consomment une ration protéoprive dont la teneur en papier filtre est de 4-8 ou 12 p. 100 ; pour éviter une interférence de la variation du poids et de l'environnement, le principe de régimes tournants est appliqué.

L'examen des données individuelles (tableau 2) fait ressortir (tableau 3) que la quantité de N. m. f. excrété par 100 g de matière sèche ingérée s'accroît parallèlement à l'augmentation de l'indigestible apparent du régime; la même excrétion rapportée

à 100 g de matière sèche fécale évolue en sens inverse. Les équations des droites de régression respectives (fig. 4 A et B) sont :

$$y = 0,005 x + 0,122 \quad (5) \quad \text{ou} \quad x = \text{indigestible apparent } \% \text{ M. S. i.}$$

$$y = -0,046 x + 2,046 \quad (6) \quad y = \text{N. m. f. } \% \text{ M. S. i. } (5) \text{ et}$$

$$\text{N. m. f. } \% \text{ M. S. f. } (6).$$

TABLEAU 3

Effet du taux d'indigestible dans le régime protéoprive sur l'excrétion de N métabolique fécal.

% papier filtre dans le régime.....	4	8	12
Indigestible fécal % M. S. i. (ou coefficient d'indigestibilité du régime)	12,7	17,6	21,3
g N. m. f. ⁽¹⁾ % M. S. i. ⁽¹⁾	0,184	0,219	0,228
g N. m. f. % M. S. f. ⁽¹⁾	1,456	1,229	1,085

⁽¹⁾ N. m. f. = azote métabolique fécal.

M. S. i. = matière sèche ingérée.

M. S. f. = matière sèche fécale.

FIG. 4 — Influence du taux d'indigestible fécal de la matière sèche ingérée sur les pertes d'azote métaboliques fécales par 100 g de matière sèche ingérée (A) et par 100 g de matière sèche fécale (B).

animal O : ○
P : □

O : *
R : ●

D'après celles-ci, chaque augmentation de 1 p. 100 de l'indigestible apparent du régime entraîne un accroissement de 5 mg (soit + 4,1 p. 100) de N. m. f. excrété par 100 g de M. S. i. ou une diminution de 46 mg (soit — 1,9 p. 100) par 100 g de M. S. f.

Toutefois, le comportement individuel des sujets vis-à-vis des modifications du taux d'indigestible dans le régime est variable comme l'illustre les figures 4 A et 4 B.

Les données mettent en évidence deux faits :

— le taux d'indigestible apparent du régime influence directement et notablement la dépense métabolique de N ;

— pour un indigestible fécal analogue, la quantité de N. m. f. excrété par unité de M. S. i. ou de M. S. f. peut varier du simple au double selon les individus avec une même teneur en cellulose-papier. ARMSTRONG et MITCHELL (1955) observent pour N. m. f. p. 100 M. S. i. des écarts individuels atteignant 40 p. 100. Il s'en suit que, pour le calcul de la valeur biologique, l'adoption d'une valeur fixe de N fécal métabolique préconisée par certains auteurs serait une erreur, car la donnée moyenne enregistrée sur un groupe d'animaux n'est pas forcément transposable à l'échelle d'un individu.

En conclusion, la mesure rigoureuse de la valeur biologique d'un protide implique la nécessité de :

— déterminer la dépense métabolique fécale individuelle des sujets d'expérience ;

— maintenir un même taux de cellulose dans les régimes de déplétion et de réplétion azotée.

B — EXCRÉTION D'AZOTE ENDOGÈNE URINAIRE

a) Effet du taux de réplétion $\left(\frac{MSi}{P^{0,70}}\right)$

Par unité de $P^{0,70}$ les taux de réplétion des sujets d'expérience oscillent (tableau 2) entre 43,7 g et 118,3 g (soit pour un porc de 50 kg une ingestion journalière de matière sèche allant de 680 à 1 825 g). Cette variation semble exercer une faible influence sur l'excrétion de N endogène urinaire rapportée à la « taille métabolique », le coefficient de corrélation qui lie ces deux variables étant seulement de

$$r = + 0,417 \pm 0,114.$$

b) Effet de la « taille métabolique »

Nos données confirment ce que de nombreux auteurs ont déjà signalé pour toutes les espèces animales, porc y compris, à savoir le rôle prépondérant de ce facteur.

La corrélation qui lie N urinaire endogène total à $P^{0,70}$ calculée pour seulement 52 (1) mesures individuelles, est élevée et hautement significative :

$$r = + 0,805 \pm 0,049.$$

La droite de régression correspondante (fig. 5) a pour équation :

$$y = 0,097 x + 0,507 \quad \text{où} \quad x = P^{0,70} \\ y = \text{N. ur. total}$$

(1) Les données de l'expérience n° VIII bis ne figurent pas, car elles correspondent à des sujets privés de choline.

Elle montre que cette dépense s'accroît de + 19,1 p. 100 à partir de la donnée d'origine par unité d'augmentation de « taille métabolique ».

Dans nos conditions expérimentales, la perte journalière moyenne de N endogène urinaire s'élève en mg à 134,5 $P^{0,70}$ avec une erreur de $\pm 3,6$ (tableau 2) contre

N urinaire

FIG. 5 — Variation de l'azote urinaire en fonction de la « taille métabolique » ($P^{0,70}$)

106. $P^{0,734}$ trouvé par ARMSTRONG et MITCHELL (1955) également sur porc et 146 $P^{0,72}$ indiqué par BRODY (1945) pour des sujets adultes de diverses espèces. Partant de ces valeurs, on trouve qu'un porc de 50 kg éliminerait journellement les quantités respectives suivantes, exprimées en g : 2,079 — 1,872 — 2,441. Nos estimations sont assez proches de celles de ARMSTRONG et MITCHELL et nettement inférieures à celles de BRODY.

c) Effet de l'âge

L'influence de ce facteur est observée sur un groupe de 6 sujets (D, E, F, O, Q et R) dont le poids moyen évolué de 30 à 68 kg entre 138 et 208 jours. (poids faible par suite de l'inanition azotée périodique. L'analyse statistique des résultats est faite selon la méthode de répartition par classes d'âge (de 14 jours en 14 jours). Le tableau 4 compare les données moyennes réellement observées à celles calculées selon une droite de régression ou une semi-exponentielle.

Il ressort (tableau 4) que :

— la dépense d'azote endogène urinaire par unité de $P^{0,70}$ s'abaisse régulièrement avec la progression de l'âge de 0,91 mg/jour ; il y a donc lieu de considérer ce facteur lors

de la mesure de la valeur biologique, étant donné que malgré la progression de l'âge, le poids n'évolue guère en phase d'inanition azotée ;

TABLEAU 4

Évolution réelle et théorique de l'excrétion de N endogène urinaire par P^{0,70} en fonction de l'âge.

(Données moyennes de 6 porcs en mg).

Age en jours x	Données observées y_1	Données calculée selon	
		la droite de régression $y_2 = 0,914x + 298,1$	la semi exponentielle $y_3 = \frac{433,74}{10 - 0,00284x}$
145	168,0	165,5	168,1
159	151,1	152,7	153,3
173	137,6	139,9	139,9
187	127,0	127,1	127,7
201	116,0	114,3	116,5

Test d'ajustement $\Sigma(y_1 - y_2)^2 = 17,43$; $\Sigma(y_1 - y_3)^2 = 11,32$.

— l'ajustement semi-exponentiel est légèrement plus représentatif que l'ajustement linéaire pour marquer l'évolution de cette dépense en fonction de l'âge. Le calcul de la correction qu'implique l'interférence de cette variable étant à peine moins précis s'il est effectué à l'aide de la régression linéaire, qu'au moyen de la semi-exponentielle, le premier mode d'estimation est préférable parce que plus simple.

En somme, connaissant l'âge du porc à une période quelconque de replétion azotée, le paramètre (0,91) de l'équation ci-dessus permettrait de calculer avec une précision très satisfaisante la dépense azotée endogène effective correspondante, à partir de la mesure faite sur le même sujet au cours d'une période unique d'inanition azotée.

Reçu en mai 1960.

SUMMARY

THE EFFICIENCY OF SOME ALIMENTARY PROTIDS IN THE FIG. 1. THE EXCRETION OF FAECAL METABOLIC NITROGEN AND ENDOGENOUS URINARY NITROGEN; EFFECT OF AGE, BODY WEIGHT, QUANTITY OF DRY MATTER.

Accurate determination of endogenous nitrogen losses is important in the precise measurement of biological value of proteins. The data for metabolic losses reported by different investigators, are so very variable that we try to study, in a preliminary work, the exact relationship between :

— weight of animal, level of ingested dry matter, total indigestible and metabolic fecal nitrogen ;

— weight of animal, level of ingested dry matter, age and endogenous urinary nitrogen.

From 1954 to 1958, 58 observations are secured on 29 pigs (Large White and Large White $\times$ Danish) weighing from 22 to 110 kg. An N-free diet (composition p. 6) containing 0,032 N Kjeldahl % airdry food is given *ad libitum* to animals.

The metabolism trials are of 8 days duration each and are preceded by a preliminary feeding period of at least 10 days.

Each animal is housed in individual metabolic crate ; it wears a special apparatus, « bambinette », (picture and schema 1) which allows quite distinct collection of urine and feces, weighed

every day. The fresh products, (hair removed for feces), are analysed for nitrogen by micro-kjeldahl procedure.

Experimental results are assembled in table 2 and are statistically analysed.

Metabolic fecal nitrogen

There is a very high and significant correlation between metabolic fecal N (y) and the logarithm of dry matter ingested ($\log x$)

$$r = + 0.918 \pm 0.021;$$

the linear equation fitted by the method of least squares is :

$$y = 4.057 \log. x - 10.240 \text{ (fig. 2).}$$

But there is a close linear relationship between metabolic fecal N and fecal dry matter.

$$y = 0.07 x + 0.850 \text{ (fig. 3)}$$

$$r = + 0.900 \pm 0.025.$$

The correlation between metabolic fecal N % fecal dry matter and live weight is very small ($r = + 0.039$). Consequently the estimation of metabolic N losses from fecal dry matter is so much the more correct as it is independant from « repletion status » $\left(\frac{\text{ingested dry matter}}{W^{.70}} \right)$. Last fact suggests that *ad libitum* feeding does not disturb this estimation.

On average level of 8 percent of filter paper cellulose in diet, the mean excretion of metabolic fecal N per 100 grams of dry matter ingested is $0.194 \text{ g} \pm 0.004$ and per 100 grams of fecal dry matter is $1.223 \text{ g} \pm 0.032$.

The coefficient of apparent indigestibility of the diet has notable influence (table 3, fig. 4 A and 4 B) on metabolic losses of N. A rise of one percent of apparent indigestibility increases metabolic fecal N of 4.1 % per 100 grams of dry matter ingested or decreases it of 1.9 % per 100 grams of dry matter excreted. For determination of biological value, it is necessary to have the same percentage of fiber during nitrogen depletion and repletion periods.

Endogenous urinary nitrogen

The excretion of urinary N per unit of metabolic size ($W^{.70}$) is not very influenced by repletion status. On the other hand, this size much acts on total endogenous urinary N (fig. 5) and the regression line is

$$y = 0.097 x + 0.507$$

$$r = + 0.805 \pm 0.049.$$

The daily loss of endogenous urinary N, in mg, is $134.5 \times W^{.70}$ between 145 and 201 days old.

With age, the loss falls regularly and the daily decrease is $- 0.91 \text{ mg per } W^{.70}$ (tabl. 4).

The differences in individual values are important enough to determine the endogenous and metabolic losses on each experimental subject.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARMSTRONG D. G., MITCHELL H. H., 1955. Protein Nutrition and the utilization of dietary protein at different levels of intake by growing swine. *J. Anim. Sci.*, **14**, 49-68.
 BELL J. M., WILLIAMS H. H., LOOSLI J. K., MAYNARD L. A., 1950. The effect of methionine supplementation of a soybean oil meal-purified ration for growing pigs. *J. Nutr.*, **40**, 551.
 BLAXTER K. L., WOOD W. A., 1951. The nutrition of the young Ayrshire calf I The endogenous nitrogen and basal energy metabolism of the calf. *Brit. J. Nutr.*, **5**, 11.
 BRODY S., 1945. Bioenergetics and Growth p. 352-387 Reinhold Publishing Corporation New York.
 COLUMBUS A., 1950. Die Variabilität der biologischen Eiweisswertigkeit unter verschiedenen Bedingungen, nach Stoffwechselversuchen an wachsenden Schweinen. *Arch. Tierernähr.*, **1**, 36-128.
 GUILBERT H. R., LOOSLI J. K., 1949. Comparative nutrition of farm animals. *Rapports particuliers 50 Congr. Zootech.*, p. 167-179. Royer — Paris.
 HENNING A., 1959. Versuche über den Stickstoff-Grundumsatz und zur biologischen Eiweisswertigkeit

- bei Schweinen, unter besonderer Berücksichtigung volljähriger weiblicher Tiere. *Arch. Tierernähr* **9**, 29-82.
- MEYER J. H., 1956. Influence of dietary fiber on metabolic and endogenous nitrogen excretion. *J. Nutr.*, **58**, 407, 413.
- MITCHELL H. H., 1923-24. A method of determining the biological value of protein. *J. Biol. Chem.*, **58**, 873-903.
- MITCHELL H. H., BERT M. H., 1954. The determination of metabolic fecal nitrogen. *J. Nutr.*, **52**, 483-497.
- MUKHERJEE R., KEHAR N. D., 1949. An improved technique for estimating the metabolic fecal nitrogen of cattle. *Indian J. vet. Sci.*, **19**, 99-112.
- SCHIFTAN H., 1932. cité par ARMSTRONG et MITCHELL (1955).
- SCHNEIDER B. H., 1935. The subdivision of the metabolic N in the feces of the rat, swine and man. *J. Biol. Chem.*, **109**, 249-278.
- TERROINE E., 1933. Le métabolisme de l'azote. Vol. I. p. 36 et 54. *Presses Universitaires de France*. — Paris.
- TITUS H. W., 1927. The nitrogen metabolism of steers on ration containing alfalfa as the sole source of nitrogen. *J. agric. Res.*, **34**, 49-58.
- WHITING F., BEZEAU L. M., 1957 a. The metabolic fecal nitrogen excretion of the pigs as influenced by the amount of fibre in the ration and by body weight. *Canad. J. Anim. Sci.*, **37**, 95-105.
- WHITING F., BEZEAU L. M., 1957 b. The metabolic fecal nitrogen excretion of the pig as influenced by the type of fibre in the ration and by the body weight. *Canad. J. Anim. Sci.*, **37**, 106-113.
-