EFFETS NUTRITIONNELS DE L'INCORPORATION DE CELLULOSE PURIFIÉE DANS LE RÉGIME DU PORC EN CROISSANCE-FINITION

I. — INFLUENCE SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DES NUTRIMENTS

Y. HENRY et M. ÉTIENNE

avec la collaboration technique de A. GAYE, Paulette LEFEUVRE et Janine JUNG

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

SOMMAIRE

Une série d'expériences a été réalisée sur porcs en croissance de race *Large White*, d'un poids vif moyen de 35 ou de 80 kg, afin d'étudier l'influence de proportions variables de cellulose pure (extraite du bois) ou d'un diluant inerte (vermiculite) dans le régime sur l'utilisation digestive des principes énergétiques et azotés. Les régimes, du type semi-synthétique, sont à base de farine de hareng de Norvège, d'amidon de maïs et d'huile d'arachide ; deux sources de cellulose sont utilisées, différant par leur granulométrie (respectivement 0,3 et 3 mm).

Il ressort des résultats obtenus que l'élévation du taux de cellulose dans la ration provoque une réduction linéaire des coefficients d'utilisation digestive des substances énergétiques et azotées ; cette dépression est cependant moins marquée lorsque le porc est plus lourd. Ainsi, dans le cas de l'énergie, les taux de diminution du coefficient d'utilisation digestive de l'énergie, en fonction du pourcentage de cellulose, sont respectivement de 1 et 0,8 p. 100 à 35 et 80 kg de poids vif. L'utilisation digestive apparente de la cellulose, chez les porcs de 35 et 80 kg, se situe respectivement aux environs de 30 et 45 p. 100 et diminue lorsque son taux dans le régime augmente. L'augmentation du taux d'indigestible (sous forme de cellulose ou de vermiculite) se traduit par un effet dépressif du même ordre sur l'utilisation digestive de la fraction non cellulosique et des matières azotées du régime, cet effet étant lui-même en relation avec une accélération du transit digestif.

INTRODUCTION

L'introduction de substances cellulosiques dans la ration du Porc en croissance-finition a pour effet, en diminuant sa valeur énergétique, de provoquer une élévation du niveau d'ingestion spontanée de nourriture, accompagnée d'une dépression

plus ou moins forte de l'utilisation digestive des divers constituants de la ration, principalement des substances énergétiques. Quoi qu'il en soit, cette dilution de l'énergie du régime par la cellulose n'est pas totalement compensée en général par l'augmentation de la consommation, de sorte que la quantité d'énergie disponible pour l'organisme (digestible ou métabolisable) diminue, ce qui se traduit par une réduction plus ou moins importante de la vitesse de croissance et de l'adiposité des carcasses. Si la plupart des travaux abondent dans ce sens (AXELSSON et ÉRIKSSON, 1953 ; MERKEL *et al.*, 1953 ; COEY et ROBINSON, 1954 ; BOHMAN *et al.*, 1955 ; HOCH STETLER *et al.*, 1959 ; POND *et al.*, 1962), il en est d'autres, par contre, qui font apparaître des résultats plus ou moins divergents selon la nature des constituants celluloseux de la ration, qu'il s'agisse de la croissance, de la consommation, de l'utilisation globale de la nourriture ou de la qualité des carcasses (FORBES et HAMILTON, 1952 ; CRAMPTON *et al.*, 1954 ; LARSEN et OLDFIELD, 1961). Il faut souligner, par ailleurs, que les essais d'incorporation d'aliments celluloseux dans la ration se sont traduits dans la majorité des cas par une modification concomitante de la nature des constituants azotés (composition en acides aminés) et énergétiques (pourcentages respectifs de matières grasses et d'aliments amylacés), si bien qu'il n'est pas possible dans ces conditions de relier les effets observés à la fraction cellulosique seule.

Compte tenu de ces considérations, nous avons entrepris d'étudier, chez le Porc en croissance, l'influence de l'introduction de proportions variables d'une source définie de cellulose (cellulose de bois) dans la ration sur l'utilisation digestive des principes énergétiques et azotés, les performances de croissance, l'efficacité alimentaire et les caractéristiques de composition corporelle, grâce à l'utilisation de régimes semi-synthétiques renfermant une source azotée unique et des substances énergétiques purifiées. Dans le même temps, en raison de l'utilisation partielle de la cellulose à des fins énergétiques, il nous a semblé opportun de comparer les effets de la cellulose pure et d'un diluant inerte (poudre de mica ou vermiculite) sur l'utilisation digestive des autres constituants de la ration. Le présent travail traite des effets comparés de la cellulose et de la vermiculite sur l'utilisation digestive des constituants énergétiques et azotés du régime. Certains de ces résultats ont déjà été rapportés par ailleurs (HENRY, 1966 ; HENRY, 1968).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Au cours d'une série d'expériences sur porcs de race *Large White*, placés en cages de digestibilité, il a été procédé à l'étude de l'influence de proportions variables de cellulose ou d'un diluant inerte (vermiculite) sur l'utilisation digestive apparente des constituants énergétiques et azotés de la ration. La source de cellulose utilisée, extraite du bois et délignifiée, est un produit chimiquement pur, qui renferme environ 94 p. 100 de matière sèche, des traces d'azote et de cendres ; l'hydrolyse par l'acide sulfurique à 72 p. 100 ne laisse aucun résidu, ce qui indique l'absence totale de lignine, et l'extrait est constitué en totalité de glucides. Les régimes sont du type semi-synthétique ; outre l'amidon de maïs et l'huile d'arachide, ils renferment une source azotée unique, en l'occurrence une farine de hareng de Norvège, dont la composition en acides aminés a été rapportée dans une publication antérieure (RÉRAT et HENRY, 1964).

Expérience A

Une première expérience (A) est conçue suivant un schéma factoriel comportant 2 taux de protéines de poisson (12 et 16 p. 100) et 2 taux de cellulose (5 et 15 p. 100) ⁽¹⁾. Les taux de 12 et 16 p. 100 de matières azotées ont été choisis comme correspondant respectivement aux niveaux sub-optimum et optimum pour la croissance (RÉRAT et HENRY, 1964).

Quatre couples de porcs mâles castrés, d'un poids moyen initial de 25 kg, sont choisis au sein d'une même portée et affectés au hasard aux taux azotés considérés, puis, à l'intérieur des couples, chaque animal reçoit alternativement les régimes à 5 et 15 p. 100 de cellulose au cours de 4 périodes successives comportant une phase préexpérimentale d'une semaine et une période de collecte proprement dite d'une durée de 6 jours. Dans tous les cas, les animaux, dans une même répétition, consomment la même quantité d'aliment, suivant la méthode *paired-feeding* de MITCHELL (1930). Cette quantité croît progressivement de 1,450 kg à 2,6 kg par jour entre la première et la sixième période. Les modalités expérimentales concernant les collectes des fèces et de l'urine ont été décrites dans une publication antérieure (HENRY et RÉRAT, 1966). Les teneurs en énergie des régimes et des fèces sont estimées à l'aide d'un calorimètre adiabatique Gallenkamp.

Expérience B

Après l'étude des variations du taux de cellulose, selon le taux protidique de la ration, une deuxième expérience (B) a été réalisée, dans laquelle nous avons fait varier seulement le taux de cellulose dans des limites plus étroites (respectivement 2,5,8 et 11 p. 100), dans des régimes semi-

TABLEAU I

Comparaison de quatre méthodes de dosage de la cellulose dans les fèces de porcs
(régimes semi-synthétiques renfermant une source de cellulose délignifiée et purifiée)

Méthode	Résultats moyens p. 100 M. sèche ⁽¹⁾	Coefficient de variation	Intervalle de confiance p. 100 ⁽²⁾
Insoluble formique.....	56,9	1,2	± 1,4
Lignocellulose, selon JAR- RIGE (1961)	53,2	1,6	± 1,1
Lignocellulose, selon VAN SOEST (1963)	53,7	1,0	± 1,8
Cellulose brute (WEENDE) .	41,5	4,0	± 4,6

⁽¹⁾ Dosages en triple exemplaire sur 5 porcs. Seules les moyennes non reliées par un trait sont significativement différentes au seuil 0,05 (test de comparaison multiple des moyennes, utilisant les tables de PEARSON et HARTLEY, 1966).

⁽²⁾ Pour une moyenne de 3 dosages par échantillon.

⁽¹⁾ Régimes renfermant 21 p. 100 de farine de hareng de Norvège, 5 p. 100 d'huile d'arachide, les taux de cellulose indiqués plus haut, 5 p. 100 de mélange minéral, 2 p. 100 de mélange vitaminique et le complément sous forme d'amidon de maïs. Composition des mélanges minéral et vitaminique (HENRY et RÉRAT, 1964). La cellulose, obtenue par broyage de plaques de pâte à papier, provenait des Ets PRONOVAL-NOVACEL 27 - ALIZAY ; elle se présentait sous forme de fibres longues.

synthétiques renfermant 16 p. 100 de protéines de poisson ⁽¹⁾. La cellulose utilisée (F₁) se présente sous la forme d'une poudre fine, obtenue après broyage sur grille de 0,3 mm.

Un essai de digestibilité, d'une durée de 8 jours, est conduit sur 4 groupes de 4 porcs mâles castrés d'un poids initial de 32 kg, suivant la méthode des blocs. Les modalités expérimentales sont celles décrites précédemment, avec une modification pour la combustion de l'urine (HENRY, 1968). La cellulose est dosée dans les aliments et les fèces par la méthode de l'insoluble formique (GUILLEMET et JACQUOT, 1943), afin d'étudier l'utilisation digestive apparente de la cellulose par le Porc. Le choix de cette méthode a été effectué compte tenu des constatations faites antérieurement à l'occasion de la comparaison de 4 méthodes de dosage (insoluble formique ; dosage de la ligno-cellulose selon JARRIGE (1963) ou selon VAN SOEST (1963) ; cellulose brute de WEENDE). Les résultats obtenus sur des fèces de porcs ayant reçu de la cellulose de bois délignifiée et purifiée (tabl. 1) n'ont fait apparaître aucune différence significative (au seuil 0,05) entre les trois premières méthodes, alors que la méthode de WEENDE donne des résultats systématiquement plus faibles et plus variables.

Expérience C

L'étude de l'introduction de proportions variables de cellulose ou d'un diluant inerte (poudre de mica ou vermiculite) dans des régimes semi-synthétiques à 16 p. 100 de protéines de poisson a été poursuivie sur 8 lots de 4 porcs mâles castrés, d'un poids moyen initial de 35,5 kg, à raison

TABLÉAU 2

Caractéristiques de la cellulose et de la vermiculite

	Cellulose de bois ⁽¹⁾ Variété Colmacel		Vermiculite
	Fine (F ₁)	Fibreuse (F ₂)	
Finesse de mouture : diamètre de la grille, mm..	0,3	3	
Composition p. 100 M. S ...			94,4
Cendres.....	0,68	0,56	—
Matières azotées (N × 6,25)	94,4	97,5	—
Insoluble formique.....			
Énergie brute, kcal/kg M. S.	4 127	4 104	0
M. S. Moy. % (en frais) ..	94,2	94,9	94,9

⁽¹⁾ Résidu après hydrolyse par SO₄ H₂ 72 p. 100 (JARRIGE, 1961) : néant. Glucides de l'extrait : 100 p. 100 de la matière sèche (méthodes SOMOGYI et à la glucose oxydase). Degré de polymérisation de cellulose : 800-900. La cellulose a été fournie par les Éts PRONOVAL-NOVAGEL-27 - Alizay et la vermiculite par la S^{te} VERMEX 22, rue d'Arras-93 - Nanterre.

de 4 répétitions. Les régimes des lots 1 à 4 renferment respectivement 6,12,18 et 24 p. 100 d'une cellulose fibreuse (F₂), obtenue par broyage sur une grille de 3 mm et provenant de la même matière première que celle utilisée pour la fabrication de la cellulose en poudre F₁ utilisée dans

⁽¹⁾ Composition des régimes en p. 100, en dehors de la cellulose : farine de hareng de Norvège à 88,8 p. 100 de matière sèche et 71,5 p. 100 de matières azotées, 16 dans les régimes 1 et 2, 21,5 dans les régimes 3 et 4 ; sucre dénaturé renfermant 2 p. 100 de farine de poisson et 1 p. 100 de fécule de pomme de terre, 20 ; huile d'arachide, 5 ; mélange minéral (HENRY et RÉRAT, 1964), 5 ; mélange vitaminique (HENRY et RÉRAT, 1964), 2 ; le complément de la ration est apporté sous forme d'amidon de maïs.

ERRATUM

EFFETS NUTRITIONNELS DE L'INCORPORATION DE CELLULOSE PURIFIÉE DANS LE RÉGIME DU PORC EN CROISSANCE-FINITION

I. — INFLUENCE SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DES NUTRIMENTS.

Y. HENRY, M. ÉTIENNE.

TABEAU 2

Caractéristiques de la cellulose et de la vermiculite

	Cellulose de bois ⁽¹⁾ Variété Colmacel		Vermiculite
	Fine (F ₁)	Fibreuse (F ₂)	
Finesse de mouture : diamètre de la grille, (mm)	0,3	3	
M.S. Moy. p. 100 (en frais)	94,2	94,9	94,9
Composition p. 100 M.S.			
Cendres	0,68	0,56	94,4
Matières azotées (N × 6,25)	traces	traces	traces
Insoluble formique	94,4	97,5	—
Énergie brute, (kcal/kg)	4127	4104	0
M.S.			

⁽¹⁾ Inchangé.

l'expérience B ⁽¹⁾. La vermiculite est introduite dans les lots 5, 6 et 7 à raison de 6-12 et 18 p. 100, en complément de 12 p. 100 de cellulose F₂. Un 8^e lot, contenant 12 p. 100 de cellulose fine (F₁), est destiné à établir une comparaison entre les deux types de cellulose utilisés. Les caractéristiques chimiques des deux sources de cellulose sont détaillées dans le tableau 2.

Chacune des répétitions est constituée à partir d'animaux de même âge et de même poids, ces derniers étant à leur tour affectés au hasard aux différents traitements. Deux périodes de collecte consécutives, d'une durée de 6 jours, ont été choisies, afin de s'assurer de la précision des observations. Les modalités expérimentales sont celles décrites dans l'expérience B ; il en est ainsi en particulier du dosage de la cellulose dans les régimes et les fèces. En outre, à la fin de l'expérience, il a été procédé, pour les deux dernières répétitions, à une étude globale du transit digestif grâce à la technique de comptage des particules colorées (COLE *et al.*, 1967, d'après CASTLE et CASTLE, 1957). A cet effet, des balles d'avoine, recueillies sur un tamis de 1 mm au travers d'un tamis de 2 mm, sont colorées au vert brillant et introduites dans le repas, à raison de 10 g. Les prélèvements de fèces sont effectués à intervalles réguliers jusqu'à disparition complète des particules colorées. A partir de la courbe d'excrétion cumulée des particules en fonction du temps, on détermine le temps moyen d'excrétion de 50 p. 100 des particules, correspondant au voisinage du point d'inflexion de la courbe sigmoïde.

Expérience D

Une quatrième expérience (D) a eu pour objet d'étudier, chez le Porc en finition, l'influence de proportions variables de cellulose de bois purifiée (F₂) sur l'utilisation digestive des constituants énergétiques et azotés d'un régime semi-synthétique renfermant 12 p. 100 de protéines de poisson. Elle a été conduite, selon les mêmes modalités que la précédente (C), sur 18 porcs mâles castrés, d'un poids moyen initial de 80,1 kg et préalablement soumis pendant deux semaines à un régime préexpérimental, du type semi-synthétique, renfermant 12 p. 100 de protéines de poisson et 12 p. 100 de cellulose de bois ⁽²⁾. Le schéma expérimental comportait initialement 4 taux de cellulose régulièrement espacés, soit 5, 15, 25 et 35 p. 100. En fait, à la suite de difficultés intervenues pour faire ingérer la totalité du régime au taux de 35 p. 100, il a été décidé d'ajouter un régime légèrement moins riche en cellulose (30 p. 100), lequel a été fort bien accepté par les animaux. En définitive, le nombre de répétitions a été de 4 pour les trois premiers taux (5, 15 et 25 p. 100) et de 3 seulement pour les deux derniers (30 et 35 p. 100). Le niveau d'alimentation est fixé à 1,6 kg par porc et par jour.

Dans chacune des quatre expériences, les régimes sont distribués sous forme humide, à raison de 3 repas par jour. La quantité d'eau distribuée représente exactement 3 fois la quantité d'aliment sec. Les critères utilisés pour apprécier l'utilisation digestive apparente des nutriments, ainsi que la rétention azotée, ont été les suivants :

— Coefficient d'utilisation digestive de la matière organique, de l'énergie et des matières azotées (C.U.D.M.O. ; C.U.D.E. ; C.U.D.N.) =

$$\frac{\text{Élément absorbé}}{\text{Élément ingéré}} \times 100 = \frac{\text{Élément ingéré} - \text{Élément excrété dans les fèces}}{\text{Élément ingéré}} \times 100$$

— Coefficient de rétention azotée (C.R.N.) =

$$\frac{N \text{ retenu}}{N \text{ absorbé}} \times 100 = \frac{N \text{ ingéré} - (N \text{ fécal} + N \text{ urinaire})}{N \text{ ingéré} - N \text{ fécal}}$$

⁽¹⁾ Régimes renfermant 22 p. 100 de farine de hareng de Norvège (16 p. 100 de matières azotées), 3 p. 100 d'huile d'arachide, les taux de cellulose et de vermiculite indiqués plus haut, 2 p. 100 de mélange minéral, 2 p. 100 de mélange vitaminique sur support d'amidon et le complément sous forme d'amidon de maïs.

Composition du mélange minéral p. 100 : phosphate bicalcique, 50 ; sel marin, 15 ; chlorure de potassium, 20 ; carbonate de magnésium, 9,94 ; sulfate de fer, 7 H₂O, 2,78 ; sulfate de manganèse, H₂O, 1,12 ; sulfate de cuivre, 5 H₂O, 0,28 ; carbonate de zinc, 0,872 ; sulfate de cobalt, 0,005 ; iodeure de potassium, 0,003 ; composition du mélange vitaminique (HENRY et RÉRAT, 1964).

Les deux sources de celluloses ont été fournies par les F^{ts} PRONOVAL-NOVACEL.

⁽²⁾ Régimes renfermant 16 p. 100 de farine de hareng de Norvège (12 p. 100 de matières azotées), 3 p. 100 d'huile d'arachide, 3 p. 100 de mélange minéral, 2 p. 100 de mélange vitaminique sur support d'amidon et le complément sous forme d'amidon de maïs.

Composition du mélange minéral : phosphate bicalcique, 47 ; craie broyée, 16 ; chlorure de potassium, 13,5 ; sel marin, 13,5 ; carbonate de magnésium, 6,63 ; sulfate de fer, 7 H₂O, 1,855 ; sulfate de manganèse, H₂O, 0,745 ; sulfate de cuivre, 5 H₂O, 0,185 ; carbonate de zinc, 0,58 ; sulfate de cobalt, 0,003 ; iodeure de potassium, 0,002 ;

Composition du mélange vitaminique (HENRY et RÉRAT, 1964).

RÉSULTATS

Expérience A (tabl. 3)

Les résultats moyens de l'expérience A sont rapportés dans le tableau 3. La présentation en a été simplifiée, du fait de l'alternance de deux régimes sur le même animal. De plus, un certain nombre d'observations n'ayant pu être recueillies, il n'a pas été possible de procéder à une interprétation complète des données, selon le schéma initial.

TABLEAU 3

Résultats moyens de digestibilité de l'expérience A

Durée : 12 semaines

Poids moyen initial : 30,4 kg

Poids moyen final : 78,4 kg

Lots	1	2	3	4
Matières azotées p. 100	12	12	16	16
Cellulose de bois en mousse p. 100	5	15	5	15
<i>Résultats moyens d'analyse</i>				
M. S. p. 100	91,4	91,9	91,7	92,0
M. A. (N × 6,25) p. 100	12,3	12,4	16,2	15,9
Énergie brute, kcal/kg M. S. ...	4 263	4 301	4 371	4 387
<i>Digestibilité</i>				
C. U. D. Énergie.....	91,8 ± 0,44 (*)	82,4 ± 0,76	90,3 ± 0,18	82,8 ± 0,65
C. U. D. N.....	88,7 ± 0,30	85,0 ± 0,87	87,3 ± 1,6	86,4 ± 0,48
Énergie digestible (ED), kcal/kg				
M. Sèche	3 927 ± 49	3 540 ± 71	3 950 ± 26	3 587 ± 149

(*) Écart-type de la moyenne du lot.

L'élévation du taux de cellulose dans la ration de 5 à 15 p. 100 (soit de 4,7 à 14,2 p. 100 de la matière sèche) provoque une diminution du coefficient d'utilisation digestive (C.U.D.) de l'énergie de 91 à 83 p. 100, tandis que le C.U.D. des matières azotées est abaissé de 88 à 85,5 p. 100, l'évolution étant la même pour les deux taux de protéines considérés. A une augmentation du taux de cellulose de 1 p. 100 correspond ainsi une diminution des C.U.D. de l'énergie et de l'azote de 0,9 et 0,3 p. 100 respectivement ; si l'on considère la disponibilité globale de l'énergie de la ration, tout se passe comme si la cellulose n'était pas utilisée. La comparaison des valeurs énergétiques des régimes ne fait apparaître aucune modification en fonction du taux azoté, les valeurs correspondantes pour 5 et 15 p. 100 de cellulose étant respectivement 3 940 et 3 560 kcal d'énergie digestible par kg de matière sèche.

Expérience B (tabl. 4)

Comme dans l'expérience A, l'augmentation du taux de cellulose de 2 à 11 p. 100 dans le régime se traduit par une diminution quasi linéaire du C.U.D. de l'énergie de la ration totale, suivant l'équation de régression : $\text{C.U.D.E.} = 92,83 - 0,57 x$, x étant le pourcentage de cellulose par rapport à la matière sèche. A l'inverse, le C.U.D. des matières azotées n'est pratiquement pas modifié par le taux de cellulose dans les limites considérées. Le coefficient de rétention azotée (C.R.N.) aurait tendance à diminuer, mais compte tenu de la forte variabilité de ce critère (coefficient de variation : 18 p. 100), l'effet observé est loin d'atteindre le seuil de signification 0,05.

Les valeurs de l'énergie digestible, en kcal par kg de matière sèche de régime, sont respectivement : 4 128, 4 000, 3 789, et 3 831 pour 2, 5, 8 et 11 p. 100 de cellulose. Les valeurs d'énergie métabolisable correspondantes sont respectivement : 4 014, 3 887, 3 670 et 3 714 kcal par kg de ration sèche ; elles représentent un pourcentage sensiblement constant de l'énergie digestible.

Les dosages de cellulose dans les aliments et les fèces ont permis d'estimer le C.U.D. apparent de la cellulose pour chacun des 16 animaux. Les résultats de digestibilité de la cellulose présentent une très grande variation individuelle, principalement dans les lots 1 et 2, à faible taux de cellulose, où l'erreur relative est en outre très importante. Par voie de conséquence, la comparaison des régimes entre eux ne fait apparaître aucune différence significative, malgré une tendance à une amélioration de la digestibilité de la cellulose lorsque son taux dans la ration augmente dans les limites de 2 à 11 p. 100.

A partir du C.U.D. apparent de la cellulose, qui oscille autour d'une valeur moyenne de 18 p. 100, nous avons estimé le C.U.D. de l'énergie de la fraction non cellulosique de la ration (C.U.D.E. rsc) :

$$\text{C.U.D.E. rsc} = \frac{\text{Énergie totale absorbée} - \text{Énergie de la cellulose absorbée}}{\text{Énergie totale ingérée} - \text{Énergie de la cellulose ingérée}}$$

où l'énergie de la cellulose ingérée est obtenue en multipliant la quantité ingérée par la valeur énergétique brute de la cellulose (4,127 kcal/g de matière sèche) ; l'énergie de la cellulose absorbée est égale à l'énergie de la cellulose ingérée multipliée par le C.U.D. de la cellulose pour le régime considéré ⁽¹⁾.

Il apparaît clairement que, dans les limites considérées, l'augmentation du taux de cellulose n'exerce aucune influence significative sur l'utilisation digestive de l'énergie du reste de la ration ; autrement dit, la diminution de l'utilisation digestive globale de l'énergie de la ration résulte uniquement de la faible utilisation de la cellulose à des fins énergétiques.

Expérience C

Les résultats moyens de digestibilité sont rapportés dans les tableaux 5 et 6, selon que varie le taux de cellulose ou de vermiculite.

⁽¹⁾ Dans ce calcul, nous avons négligé la production de gaz de fermentation (méthane) qui, chez le Porc, est relativement faible (BREIREM, 1939).

TABLEAU 4

Résultats moyens de digestibilité — Expérience B

Durée : 8 jours
 Niveau d'ingestion (Aliment frais) : 1,1 kg/j
 Poids moyen initial : 32,3 kg

Lots	1	2	3	4	Signification statistique (1)	
Cellulose p. 100 ration (en frais).....	2	5	8	11		
P. 100 M. S.	2,1	5,3	8,5	11,5	$s_{\bar{x}}$	
<i>Résultats moyens d'analyse</i>						
%						
M. S.....	88,6	89,4	88,3	89,3		
M. O. p. 100 M. S.	92,8	92,7	92,9	93,0		
M. A. (N $\times$ 6,25)	17,5	17,2	17,4	17,0		
Insoluble formique	2,5	5,2	8,6	11,1		
Énergie brute kcal/kg						
M. S.	4 499	4 442	4 344	4 416		
M. S. ingérée/j, g.....	974	984	972	965		
Gain moyen par jour, g.	500	437	437	375	38,3 (17,4)	NS
<i>Utilisation de l'azote</i>						
N ingéré/j, g.....	27,3	27,0	27,1	26,3		
N absorbé/j, g.....	24,3	23,5	23,9	22,9		
C.U.D.N.....	88,8	87,1	88,1	87,1	0,52 (1,2)	NS
N retenu/j, g	13,9	12,4	12,4	11,1	0,98 (15,8)	NS
C.R.N.....	54,0	49,5	48,3	45,3	4,5 (18,3)	NS
<i>Utilisation de l'énergie</i>						
Énergie brute ingérée/j, kcal.....	4 386	4 370	4 221	4 262		
Énergie absorbée/j, kcal	4 024	3 934	3 682	3 695		
C.U.D. M.O.	92,0	89,3	88,1	88,0	1,10 (2,5)	E _L **
CUD énergie	91,7	90,0	87,2	86,7	0,75 (1,7)	E _L **
Énergie métabolisable/j, kcal.....	3 908	3 823	3 566	3 583		
Énergie métabolisable p. 100 énergie digestible.	97,26	97,18	96,83	96,95	0,15 (0,3)	NS
Énergie de l'urine, kcal/g N	10,79	10,24	10,19	9,66	0,61 (119)	NS
<i>Valeur énergétique des régimes, kcal/kg M. S. ..</i>						
Énergie digestible	4 128	4 000	3 789	3 831	45,3 (2,3)	E _L **
Énergie métabolisable ...	4 014	3 887	3 670	3 714	46,8 (2,4)	E _L **
<i>Utilisation de la cellulose</i>						
C.U.D. cellulose	8,7 $\pm$ 3,8 (2)	17,7 $\pm$ 10,8	19,1 $\pm$ 2,6	24,1 $\pm$ 6,4	6,3 (72,6)	NS
C.U.D. énergie du régime sans cellulose	93,4	93,6	93,2	94,3	0,49 (1,0)	NS

(1) Signification statistique : $s_{\bar{x}}$ = écart-type de la moyenne (entre parenthèses, coefficient de variation). E_L = Terme linéaire de l'effet « taux de cellulose ». Seuls de signification : ** : 0,01 — * : 0,05 — NS = Effet non significatif. Ces indications sont valables pour les tableaux qui suivent.

(2) Écart-type de la moyenne du lot.

TABLEAU 5

*Résultats moyens de digestibilité en fonction du taux de cellulose et de sa finesse**Expérience C*

Nombre d'animaux par lot : 4

Poids moyen initial : 35,4 kg

Durée : 14 jours (2 périodes de collecte de 6 jours)

Quantité d'aliment frais/j : 1,150 kg

Nature de la cellulose	Fibreuse (F ₂)				Fine (F ₁)				
Lots	1	2	3	4	8	Moyenne des périodes		Signification statistique	
						1 ^{ère}	2 ^e	$s_{\bar{x}}$	
Cellulose p. 100 ration en frais	6	12	18	24	12				
P. 100 M. S.	6,4	12,6	18,9	25,1	12,5				
<i>Résultats moyens d'analyse</i>									
M. Sèche p. 100	89,6	90,2	90,5	90,9	90,2				
M. O. % MS.	94,9	94,3	95,7	95,8	94,7				
M. A. (N × 6,25)	18,5	18,2	17,5	17,5	18,4				
Insoluble formique	6,4	12,1	19,4	25,5	13,2				
Énergie brute, kcal/kg M. S.	4524	4512	4495	4499	4391				
M. S. ingérée/j, g	1030	1032	1040	1045	1037	1036	1038		
Gain moyen/j, g	455	420	339	312	473	466	466	13,0 (6,8)	E _L **
<i>Utilisation de l'azote</i>									
N ingéré/j, g	30,6	29,8	29,2	29,2	30,6	29,8	29,9		
N absorbé/j, g	28,2	26,8	25,1	24,2	27,4	26,2	26,4		
C.U.D.N.	92,1	89,7	86,1	82,9	89,5	87,8	88,3	0,30 (0,68)	E _L **
N retenu/j, g	15,6	14,0	11,5	11,2	13,5	13,2	13,1	0,46 (7,2)	
C.R.N.	55,3	52,4	45,7	46,1	49,2			1,79 (7,3)	
<i>Utilisation de l'énergie</i>									
Énergie brute ingérée par jour, kcal	4663	4663	4677	4701	4555	4647	4656		
Énergie absorbée/j, kcal	4321	4042	3767	3507	3963	3919	3920		
C.U.D.M.O.	93,1	86,8	78,8	73,9	87,4	84,2	84,2	0,53 (1,3)	E _L **
C.U.D. énergie	92,6	86,7	80,5	74,6	87,0	84,4	84,2	0,56 (1,3)	E _L **
Énergie métabolisable par jour, kcal	4173	3899	3621	3350	3825	3403	3590		
Énergie métabolisable p. 100 énergie digest.	96,59	96,64	96,14	95,85	96,62	96,35	96,38	0,16 (0,33)	E _L *
Énergie de l'urine, kcal/g N	11,99	10,37	10,74	10,50	10,16	11,16	10,37	0,31 (5,8)	NS
<i>Valeur énergétique des régimes, kcal/kg M.S.</i>									
Énergie digestible	4193	3915	3621	3365	3819	—	—		
Énergie métabolisable ..	4049	3782	3481	3228	3549	—	—		
<i>Utilisation de la cellulose</i>									
C.U.D. cellulose	36,0	28,7	25,5	25,2	33,5	30,3	28,6	2,6 (18,1)	E _L *
C.U.D. énergie du régime sans cellulose ..	96,1	94,2	92,1	89,3	93,5	93,3	93,4	0,33 (0,71)	E _L **

TABLEAU 6

Résultats moyens de digestibilité en fonction du taux de vermiculite. Expérience C

Nombre d'animaux par lot : 4
 Poids moyen initial : 35,5 kg
 Durée : 14 jours (2 périodes de collecte de 6 jours)
 Quantité d'aliment frais/j : 1,150 kg

Lots	2	5	9	7	Moyenne des périodes		Signification statistique	
Vermiculite p. 100 ration (en frais).....	0	6	12	18	1 ^{ere}	2 ^e	$\overline{s_x}$	
Vermiculite p. 100 M. S. ...	0	6,3	12,5	18,7				
<i>Résultats moyens d'analyse</i>								
M. S. p. 100.....	90,2	90,4	90,9	91,2			—	
M. O. p. 100 M. S.	94,3	89,8	83,7	77,5				
M. A. (N × 6,25) p. 100 M. S. .	18,2	18,0	18,3	17,8				
Insolubleformique p.100 M.S. .	12,1	13,2	14,8	15,1				
Énergie brute, kcal/kg M. S. .	4512	4213	3937	3622				
M S. ingérée/j, g	1032	1040	1045	1049	1041	1042		
Gain moyen/j, g	420	384	286	304	401	416	27,4 (15,6)	E _L *
<i>Utilisation de l'azote</i>								
N ingéré/j, g	29,8	30,0	30,6	29,8	30,0	30,1		
N absorbé/j, g	26,8	26,4	26,1	24,9	26,0	26,0		
C.U.D.N.	89,7	88,1	85,2	83,5	86,7	86,6	0,32 (0,74)	E _L **
N retenu/j, g	14,0	13,2	11,4	11,8	12,7	12,4	0,31 (5,0)	E _L **
C.R.N	52,4	49,8	43,5	47,4	48,9	47,5	1,30 (5,5)	
<i>Utilisation de l'énergie</i>								
Énergie brute ingérée par jour, kcal	4663	4382	4117	3788	4232	4244		
Énergie absorbée/j, kcal	4042	3775	3418	3111	3596	3575		
C.U.D.M.O.	86,8	86,5	83,2	81,8	84,9	84,1	0,29 (0,70)	E _L **
C.U.D. énergie	86,7	86,1	83,0	81,9	84,7	84,1	0,32 (0,76)	E _L **
Énergie métabolisable par jour, kcal	3899	3640	3302	2945	3462	3591		
Énergie métabolisable p. 100 énergie digestible	96,64	96,13	95,72	95,64	96,12	96,09	0,34 (0,71)	E _L **
Énergie de l'urine, kcal/g N .	10,37	10,32	9,79	9,54	10,32	9,82	0,19 (3,8)	E _L *
<i>Valeur énergétique des régimes,</i>								
kcal/kg M. S.								
Énergie digestible	3915	3629	3269	2966				
Énergie métabolisable	3782	3500	3153	2797				
<i>Utilisation de la cellulose</i>								
C.U.D. cellulose	28,7	33,5	33,2	37,0	35,9	36,1	1,9 (11,9)	NS
C.U.D. énergie du régime sans cellulose	94,2	93,5	90,5	89,3	91,8	92,0	0,37 (0,81)	E _L **

I. *Variation du taux de cellulose.*

L'élévation du taux de cellulose dans le régime de 6 à 24 p. 100 se traduit, ici encore, par une dépression linéaire de l'utilisation digestive apparente de l'ensemble des nutriments : matière organique, substances énergétiques, matières azotées. Le calcul de régression des C.U.D. de la matière organique, de l'énergie et des matières azotées sur le taux de cellulose par rapport à la matière sèche aboutit ainsi aux équations décrites dans le tableau 7 ⁽¹⁾.

TABLEAU 7
Temps moyen d'excrétion des particules colorées
Expérience C

	Nature de la cellulose :				
	Fibreuse (F ₂)				Fine (F ₁)
1. En fonction du taux de cellulose et de sa finesse					
Lot	1	2	3	4	8
Cellulose %	6	12	18	24	12
Nombre d'animaux	2	4	2	2	4
Temps d'excrétion 50 % (h) :					
Résultats individuels	73-101	{ 56-51 72-54	31-50	28-25	51-33-51-65
Moyenne	87	58	41	27	50
2. En fonction du taux de vermiculite (régimes à 12 p. 100 de cellulose)					
Lot	2	5	6	7	
Vermiculite %	0	6	12	18	
Nombre d'animaux observés	4	2	2	2	
Temps d'excrétion 50 % (h) :					
Résultats individuels	{ 56-51 72-54	53-62	41-28	33-33	
Moyenne	58	58	35	33	

L'évolution des C.U.D. fait apparaître un parallélisme étroit entre la matière organique et l'énergie, tandis que le taux de diminution du C.U.D. azoté est plus faible. Il résulte de ce qui précède que l'administration d'une quantité constante d'aliment dans les différents lots entraîne une diminution de la quantité d'énergie absorbée. Il est intéressant de noter qu'à cette réduction du niveau d'ingestion de substances énergétiques correspond une diminution du croît moyen journalier et, par voie de conséquence, de la rétention azotée, tant en valeur absolue qu'en valeur relative. L'accroissement de l'excrétion azotée urinaire ainsi observée explique la diminution du pourcentage d'énergie métabolisable par rapport à l'énergie digestible à mesure que le taux de cellulose augmente.

⁽¹⁾ Le C.U.D. de l'énergie, en fonction du taux de cellulose X (en frais) est donné par l'équation : C.U.D.E. = 98,68 - (1,005 ± 0,027) X ± 0,51.

Par ailleurs, de la comparaison des lots 1 et 8, il ressort que la variation de la granulométrie de la cellulose n'exerce aucune influence significative sur l'utilisation digestive apparente des substances énergétiques et azotées.

Contrairement à ce que l'on observe dans l'expérience B, l'incorporation à la ration de doses croissantes de cellulose entraîne une diminution de l'utilisation digestive, non seulement de la cellulose elle-même, mais également des autres constituants énergétiques de la ration. Les C.U.D. diminuent de 36,0 à 25,2 p. 100 pour la cellulose et de 96,1 à 89,3 pour la fraction énergétique non cellulosique, lorsque le pourcentage de cellulose dans la ration sèche augmente de 6,4 à 25,5.

Remarquons enfin que pour l'ensemble des critères analysés, la comparaison des résultats moyens d'une période à l'autre ne fait ressortir aucune différence significative.

2. *Variation du taux de vermiculite.*

Étant donné que le contenu énergétique de la vermiculite est nul, l'administration de ce diluant à taux croissant dans le régime se traduit par une diminution de l'énergie brute de la ration, contrairement à ce que l'on observe en faisant varier le taux de cellulose. En même temps, les C.U.D. de la matière organique, de l'énergie et des matières azotées diminuent linéairement en fonction du taux de diluant, suivant les équations :

$$\begin{aligned}\text{C.U.D.M. O} &= 87,29 - 0,300 X; r = - 0,915 \\ \text{C.U.D.E.} &= 87,06 - 0,280 X; r = - 0,914 \\ \text{C.U.D.F. rsc} &= 94,56 - 0,283 X; r = - 0,905 \\ \text{C.U.D.N.} &= 89,89 - 0,347 X; r = - 0,957\end{aligned}$$

X étant le pourcentage de vermiculite (en matière sèche) par rapport à la matière sèche totale et r le coefficient de corrélation. Il en est de même du C.U.D. de l'énergie de la fraction non cellulosique de la ration, alors que l'utilisation digestive de la cellulose n'est pas affectée par le taux de vermiculite. Dans ces conditions, comme avec la cellulose, l'administration aux porcs d'une quantité constante de matière sèche équivaut à une réduction progressive de l'énergie disponible, à mesure que s'élève le taux de vermiculite. Il s'ensuit une dépression du gain moyen journalier et de la quantité d'azote fixée dans les tissus, à la fois en valeur absolue et relativement à la quantité absorbée (C.R.N.) ; comme avec la cellulose, on observe une diminution correspondante de l'énergie métabolisable par rapport à l'énergie digestible.

3. *Variations du transit digestif.*

L'excrétion cumulée des particules colorées d'un repas présente une allure sigmoïde. Comme l'indique le tableau 8, le temps moyen d'excrétion de la moitié des particules subit une diminution sensible en fonction du taux de diluant (cellulose ou vermiculite), et ceci en dépit des fortes variations individuelles. Par contre, la granulométrie de la cellulose n'exerce aucune modification du transit digestif dans son ensemble.

TABLEAU 8

*Résultats moyens de digestibilité en fonction du taux de cellulose, chez le Porc en finition**Expérience D*

Poids moyen initial : 80,1 kg

Durée : 14 jours (2 périodes de collecte de 6 jours)

Quantité d'aliment frais/j : 1,6 kg

Lots	1	2	3	4	5	Moyenne des périodes		Signification statistique	
						1 ^{re}	2 ^e	s_x	
Cellulose p. 100 ration (en frais)	5	15	25	30	35				
Cellulose p. 100 M. S.	5,3	15,7	25,9	30,9	36,0				
<i>Résultats moyens d'analyse</i>									
M. S. p. 100	89,4	90,0	90,8	91,3	91,4				
M. O. p. 100 M. S.	95,2	95,5	95,7	95,7	95,2				
M. A (N × 6,25) p. 100 M. S. .	13,7	13,5	13,0	13,1	12,9				
Insoluble formique p. 100 M.S. .	5,8	15,3	25,9	31,5	35,6				
Énergie brute, kcal/kg M. S. .	4 365	4 360	4 357	4 375	4 376				
M. S. ingérée/j, g	1 430	1 440	1 453	1 460	1 462	1 446	1 452		
Gain moyen/j, g	542	504	392	450	222	464	394		
<i>Utilisation de l'azote</i>									
N ingéré/j, g	31,4	31,1	30,4	30,6	30,1	30,7	30,8		
N absorbé/j, g	28,7	27,6	25,4	25,6	24,1	26,3	26,6		
C.U.D.N.	91,4	88,7	84,7	83,6	80,0	85,6	86,2	0,49 (1,1)	E _L **
N retenu/j, g	13,1	11,5	9,6	11,2	7,6	11,1	10,4		
C.R.N.	45,9	41,8	37,9	43,4	31,3	41,8	39,0		
<i>Utilisation de l'énergie</i>									
Énergie brute ingérée/j, kcal.	6 240	6 280	6 329	6 389	6 398	6 311	6 329		
Énergie absorbée/j, kcal	5 896	5 527	4 985	4 853	4 465	5 191	5 207		
C.U.D.M.O.	95,4	88,5	79,2	75,6	68,8	82,6	82,4	0,96 (2,3)	E _L **
C.U.D. énergie	94,5	87,9	78,8	76,0	69,8	82,3	82,3	0,77 (1,9)	E _L **
<i>Valeur énergétique des régimes</i>									
Énergie digestible, kcal/kg M.S.	4 123	3 838	3 431	3 324	3 054	—	—		
<i>Utilisation de la cellulose</i>									
C.U.D. cellulose	67,1	50,0	40,9	42,6	33,3	45,0	44,0		
C.U.D. énergie du régime sans cellulose	96,1	94,5	91,5	90,1	88,1	92,2	92,5	0,5 (3,4)	E _L **

4. *Teneur en matière sèche des fèces et excrétion urinaire (fig. 1).*

Pour une même quantité d'eau distribuée, l'élévation du taux de cellulose dans le régime, entre 6 et 24 p. 100, se traduit par une diminution quasi linéaire de la teneur en matière sèche des fèces, alors que la granulométrie de la cellulose est pratiquement sans effet (fig. 1). De la même façon, l'incorporation de doses croissantes de vermiculite provoque, dans l'ensemble, une diminution du pourcentage de matière sèche dans les excréments fécaux. Parallèlement à cette excrétion d'eau accrue dans les fèces, on observe une diminution du volume d'urine excrété à mesure que

le taux de cellulose ou de vermiculite s'élève. La quantité d'urine est d'ailleurs en corrélation étroite avec la teneur en matière sèche des fèces ($r = 0,71$).

FIG. 1. — Influence du taux de cellulose ou de vermiculite sur la teneur en matière sèche des fèces et la quantité journalière d'urine excrétée

- a) Teneur en matière sèche des fèces
b) Quantité journalière d'urine excrétée,

Cellulose { Fibreuse F_2 ● — ●
 en poudre F_1 ○ — ○
Vermiculite

Les valeurs moyennes sont entourées par leur écart-type

Expérience D (tabl. 9)

Comme dans les expériences précédentes, l'élévation du taux de cellulose de 5 à 35 p. 100 dans le régime se traduit par une dépression linéaire hautement significative de l'utilisation digestive apparente de la matière organique, de l'énergie, des matières azotées et de la cellulose, suivant les relations rapportées dans le tableau 9. Cette dépression est cependant moins marquée que dans l'expérience C, où l'on utilisait des porcs plus légers (35 kg de poids vif contre 80 kg). La comparaison des pentes des droites de régression dans les deux expériences fait d'ailleurs apparaître des écarts significatifs pour tous les constituants, sauf la cellulose. Les différences ainsi observées semblent s'expliquer par une meilleure utilisation digestive de la cellulose, lorsque les porcs sont plus lourds (45 p. 100 en moyenne contre 30 p. 100),

TABLEAU 9
*Équations de régression donnant les C.U.D. des constituants énergétiques et azotés
du régime en fonction du taux de cellulose rapporté à la matière sèche (X)*

Coefficients d'utilisation digestive (C.U.D.)	Expérience C (Poids moyen initial : 35,3 kg) Nombre d'animaux : 16	Expérience D (Poids moyen initial : 80,1 kg) Nombre d'animaux : 18	Signification statistique de la différence des pentes des droites de régression (Test de Student)
M. organique : C.U.D.M.O.	$\hat{Y} = 99,64 - (1,03 \pm 0,049) X \pm 0,48$ $r = -0,998$	$\hat{Y} = 100,73 - (0,85 \pm 0,054) X \pm 0,88$ $r = -0,965$	*
Énergie : C.U.D.E.	$\hat{Y} = 98,82 - (0,97 \pm 0,52) X \pm 0,51$ $r = -0,985$	$\hat{Y} = 99,35 - (0,79 \pm 0,050) X \pm 0,82$ $r = -0,972$	*
Énergie de la ration sans cellulose : C.U.D. Ersc	$\hat{Y} = 98,64 - (0,36 \pm 0,032) X \pm 0,31$ $r = -0,960$	$\hat{Y} = 97,89 - (0,26 \pm 0,022) X \pm 0,36$ $r = -0,953$	**
M. azotées : C.U.D.N.	$\hat{Y} = 95,58 - (0,50 \pm 0,030) X \pm 0,29$ $r = -0,981$	$\hat{Y} = 93,74 - (0,36 \pm 0,039) X \pm 0,64$ $r = -0,944$	*
C.U.D. cellulose	$\hat{Y} = 37,81 - (0,57 \pm 0,25) X \pm 2,48$ $r = -0,375$	$\hat{Y} = 64,90 - (0,80 \pm 0,19) X \pm 3,91$ $r = -0,546$	NS

en raison d'un développement plus important des réservoirs digestifs (cœcum, colon) par rapport au poids vif.

En résumé, la récapitulation des résultats de digestibilité pour les expériences C et D, en fonction du taux de cellulose, est illustrée dans la figure 2. Dans la figure 3, nous avons rapporté l'évolution du C.U.D. de l'énergie de la fraction non cellulosique du régime en fonction du taux de cellulose ou de vermiculite. D'après ces

FIG. 2. — Influence du taux de cellulose sur l'utilisation digestive apparente de l'énergie de la ration

Expérience C (porcs de 35 kg) ●—●
Expérience D (porcs de 80 kg) ○—○

FIG. 3. — Effets comparés de la cellulose et de la vermiculite sur l'utilisation digestive apparente de l'énergie de la fraction non cellulosique du régime (CUD Ersc)

Cellulose ●—●
Vermiculite ▲—▲

résultats, il apparaît que l'effet dépressif sur l'utilisation digestive apparente des constituants non cellulosiques de la ration est sensiblement le même, qu'il s'agisse d'un diluant partiellement utilisable (cellulose) ou totalement inerte (vermiculite). Il convient de noter par ailleurs que l'utilisation digestive des substances énergétiques de la fraction non cellulosique du régime et des matières azotées diminue dans les mêmes proportions, soit 0,3 p. 100 environ pour 1 p. 100 d'augmentation du taux de diluant.

DISCUSSION

Malgré certaines divergences observées d'une expérience à l'autre aux taux les plus faibles de cellulose, les résultats de la présente étude font apparaître une diminution systématique de l'utilisation digestive des principes énergétiques et azotés de la ration à la suite d'une élévation du taux cellulosique. Cependant, cette dépression de la digestibilité est moins accentuée que celle observée en introduisant des aliments cellulosiques naturels (son, farine de luzerne, balles d'avoine...) dans des régimes à base de céréales. D'une manière générale, les auteurs rapportent une relation linéaire décroissante entre le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie (ou de la matière organique) et le taux de cellulose brute, le taux de diminution étant de l'ordre de 2 à 3 p. 100 pour 1 p. 100 d'augmentation du taux de cellulose (AXELSSON, 1955 ; NEHRING, 1966 ; DRENNAN et MAGUIRE, 1966 ; HENRY, 1968). Cette discordance entre cellulose pure et aliments cellulosiques naturels, du point de vue de leurs effets sur l'utilisation digestive globale de la ration, est d'ailleurs apparue dans un certain nombre de travaux portant, soit sur des régimes complexes à base de céréales (FORBES et HAMILTON, 1952 ; LARSEN et OLDFIELD, 1961 ; LIKUSKI et BOWLAND, 1961 ; NEHRING *et al.*, 1965), soit sur des régimes semi-synthétiques à base d'amidon (MITCHELL et HAMILTON, 1933 ; TEAGUE et HANSON, 1954). En réalité, l'utilisation des différentes sources de cellulose par le Porc est elle-même très variable selon leur degré de lignification et leur nature (cellulose, hémicelluloses, pentosanes). Ainsi, les hémicelluloses et les pentosanes sont mieux digérés que la cellulose, alors que la lignine est pratiquement indigestible (MANGOLD, 1934 ; LAURENTOWSKA, 1958 ; KEYS *et al.*, 1967 1969*). En ce qui concerne la cellulose proprement dite, son utilisation par la voie de la microflore intestinale apparaît comme non négligeable (WOODMAN et EVANS, 1947 ; CRANWELL, 1968 ; FORBES et HAMILTON, 1952), malgré des variations individuelles importantes. Travaillant sur des porcs d'un poids compris entre 100 et 180 kg, NEHRING *et al.*, (1967) rapportent, pour une source de cellulose purifiée, un coefficient d'utilisation digestive de l'énergie de 56 p. 100, soit sensiblement la même valeur que celle obtenue dans la présente étude sur des animaux de 80 kg. BREIREM *et al.* (1958), de même que CUNNINGHAM *et al.* (1962), notent de leur côté une amélioration de la digestibilité de la cellulose à mesure que le poids vif augmente, en raison probablement d'un développement accru du tractus digestif, en particulier du cæcum. Ceci explique que les résultats de digestibilité que nous avons enregistrés sur des animaux relativement jeunes (d'un poids moyen de 35 à 40 kg), se situent à un niveau faible, de l'ordre de 20 à 30 p. 100 ; ils font de plus ressortir une diminution progressive à mesure que le pourcentage de cellulose dans la ration augmente, tout au moins pour des taux relativement élevés, ce qui est en accord avec les travaux de SCOTT et NOLAND (1959) et de FRIEND *et al.* (1962). La diminution du pourcentage d'énergie métabolisable par rapport à l'énergie digestible, en fonction du taux de cellulose, est elle-même la conséquence d'une excrétion azotée accrue, provoquée par un excès de protéines par rapport à l'énergie disponible. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus indiquent que les produits absorbés à partir

* KEYS J. E., JR., VAN SOEST P. J., YOUNG E. P., 1969. Comparative study of the digestibility of forage cellulose and hemicellulose in ruminants and non ruminants. *J. Anim. Sci.*, **29**, 11-15.

de la fermentation de la cellulose, en l'occurrence les acides gras volatils (ÉTIENNE, 1969), sont utilisables comme source d'énergie par le Porc, au même titre que les autres produits du métabolisme (WOODMAN et EVANS, 1947 ; FORBES et HAMILTON, 1952). Les travaux récents de NEHRING *et al.* (1965) ont d'ailleurs montré que le rendement de l'énergie métabolisable est le même, selon qu'elle dérive de la cellulose ou de l'amidon.

Si l'on fait abstraction de la cellulose, ou plutôt des produits terminaux de sa dégradation (acides gras volatils) comme source d'énergie pour le Porc, on constate que son introduction dans la ration n'en a pas moins un effet dépressif sur l'utilisation digestive globale du reste de la ration, qu'il s'agisse de l'énergie ou des matières azotées (WOODMAN et EVANS, 1947 ; LLOYD et CRAMPTON, 1955) ; il en est de même en introduisant un diluant inerte (vermiculite) dans le régime (LIKUSKI et BOWLAND, 1961). Cet effet dépressif est d'ailleurs d'autant moins marqué que le porc est plus lourd ; il en résulte au cours de la croissance, une amélioration de l'utilisation digestive globale de la ration, alors que dans les conditions normales d'alimentation on ne note pratiquement aucune modification, tout au moins à partir du sevrage (CHARLET-LÉRY et ZELTER, 1956).

Selon divers auteurs, parmi lesquels WHITING et BEZEAU (1957) et MEYER (1958), la diminution de l'utilisation digestive apparente des matières azotées, à la suite d'une élévation du taux de cellulose dans la ration, résulterait à la fois d'un accroissement de l'excrétion fécale endogène et d'une diminution de la digestibilité vraie des matières azotées. L'augmentation de l'azote fécal endogène peut être attribuée à une diminution de la digestion microbienne de cette fraction, elle-même liée à une vitesse accrue du transit. Un certain nombre de travaux, dont ceux de CASTLE et CASTLE (1957) et de SEERLEY *et al.* (1962), ont fait ressortir, en effet, une augmentation de la vitesse de transit avec le niveau d'ingestion. Il convient de noter en réalité que, dans le cas présent, les animaux en observation du point de vue du transit étaient soumis au même niveau d'alimentation ; l'accélération du transit serait alors la conséquence directe d'un accroissement du volume de l'indigestible. On peut évoquer par ailleurs une augmentation de l'azote endogène portant sur les desquamations et les sécrétions digestives, la digestion microbienne restant constante.

En ce qui concerne l'évolution de la matière organique fécale, il y a lieu de souligner d'autre part, les résultats identiques trouvés sur la fraction non cellulosique de la matière organique et sur la fraction azotée, en utilisant la cellulose ou la vermiculite. Comme pour les matières azotées, l'augmentation de cette fraction pourrait être due à une diminution de la digestion par la flore intestinale de certains constituants de la ration. Autant cette hypothèse est plausible pour des rations complexes renfermant des hémicelluloses ou des polysaccharides variés, autant dans le cas présent, où l'on utilise une ration purifiée, il semble difficile de la retenir.

Un dernier point concerne l'influence du taux de diluant (cellulose, vermiculite) et de sa texture sur la consistance des fèces et le volume d'eau excrété par l'urine. Nos résultats, qui font état d'un abaissement de la teneur en matière sèche des fèces, ainsi que de la quantité d'urine excrétée, lorsque le taux de cellulose augmente, confirment les observations faites sur ce point par COOPER et TYLER (1959), avec du son ou de la cellulose, mais seulement lorsque cette dernière est présentée sous forme fibreuse ; dans le cas où l'on utilise de la cellulose en poudre, par contre, il y a désaccord entre nos données et celles des auteurs précédents, qui n'observaient aucun

effet de ce type de cellulose sur la consistance des fèces. Les modifications de la teneur en matière sèche des fèces, sous l'action de la cellulose, sont à mettre en relation avec la vitesse du transit dans le gros intestin. L'augmentation de la rétention d'eau dans le contenu intestinal, en présence de cellulose, s'accompagne d'une accélération du transit. Inversement, à la suite d'un ralentissement de ce dernier, une partie de l'eau du contenu est réabsorbée à travers la paroi intestinale, et ceci d'autant plus facilement que le contenu est plus riche en cellulose ; on explique de cette manière les variations diurnes de la teneur en matière sèche des fèces, en relation avec le rythme des repas et la vitesse de transit. La similitude des résultats obtenus avec la cellulose et la vermiculite nous incline à penser que les effets observés, tant sur la vitesse de transit que sur la consistance des fèces, ne sont pas propres à la cellulose, mais résultent des propriétés physiques particulières du diluant, et principalement de sa capacité de rétention d'eau.

En conclusion, l'élévation du taux de cellulose ou d'un diluant inerte dans des régimes purifiés provoque, chez le Porc, une décroissance linéaire de l'utilisation digestive de l'ensemble des constituants de la ration. La diminution du C.U.D. de l'énergie, moins forte qu'avec les régimes naturels à base de céréales, s'explique, à la fois par une utilisation partielle du diluant (s'il s'agit de la cellulose), et par un effet dépressif de ce dernier sur l'utilisation digestive du reste de la ration ; cet effet est en relation avec la vitesse du transit digestif, elle-même fonction du taux d'indigestible dans la ration.

Reçu pour publication en juillet 1969.

SUMMARY

NUTRITIONAL EFFECTS OF INCLUDING PURIFIED CELLULOSE IN THE DIET OF THE GROWING-FINISHING PIG

I. — EFFECT ON THE DIGESTIVE UTILIZATION OF NUTRIENTS

A series of experiments was carried out on growing pigs of the *Large White* breed having a minimum live weight of 20 kg. The object was to study the action on the digestive utilization of energetic and nitrogenous constituents of incorporating variable proportions of pure cellulose (wood extract) or an inert diluent (vermiculite) in the diet.

Diets of a semi-synthetic type had a single nitrogen source (Norwegian herring meal), at the level of 12 or 16 p. 100 percent of protein, cornstarch and peanut oil. Two cellulosic sources, differing in granulometry (0.3 and 3 mm, respectively) were used.

The results obtained show that increasing the cellulose percentage by 2-24 p. 100 in the ration for castrated male pigs having an average weight of 35 kg, caused a linear reduction of the coefficients of apparent digestive utilization of energetic and nitrogenous substances. The following table shows the relationships :

for organic matter	A.D.O.M. =	99.64 - 1.049 x ;	r = 0.998
for energy.....	A.D.E. =	98.82 - 0.967 x ;	r = 0.985
for nitrogenous matter	A.D.N. =	95.58 - 0.500 x ;	r = 0.981
x being the cellulose percentage in relation to dry material			
r being the coefficient of correlation			

However, the depressive effect of cellulose on total ration digestibility was less pronounced when the pig was heavier. Thus, at an average weight of 80 kg, the diminution rates of A.D.O.M., A.D.E., and A.D.N. were, respectively, 0.85-0.79 and 0.36 for 1 p. 100 increase in the cellulose percentage. Apparent digestive utilization of the cellulose was also improved as the live weight increased. It was about 30 p. 100 at 35 kg and 45 p. 100 at 80 kg, and decreased by 0.57 and 0.80 p. 100, respectively for 1 p. 100 increase of the cellulose level in the ration.

Increase of the indigestible percentage (in the form of cellulose or vermiculite) has a depressive effect on the digestive utilization of energy in the non-cellulosic fraction of the ration as follows :

for cellulose A.D.E. nc = $98.64 - 0.36 x$; $r = 0.960$
 for vermiculite..... A.D.E. nc = $94.56 - 0.28 x$; $r = 0.905$

This depressive effect was the same whether a partially utilizable (cellulose) or totally inert diluent (vermiculite) was used. It is related to an acceleration of digestive transit observed from the appearance of colored particles in the feces at different times after the meal. Moreover, it should be noted that the digestive utilization of energetic substances in the non-cellulosic fraction of the diet, and of nitrogenous matter, decreases in the same proportion ; that is, about 0.3 p. 100 for 1 p. 100 increase in the percentage of diluent.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AXELSSON J., 1955. Der Einfluss des Rohfaser gehaltes des Futters auf das Wachstum von Jungschweinen. *Arch. Tierernähr.*, **5**, 1-16.
- AXELSSON J., ERIKSSON S., 1953. The optimum crude fibre level in rations for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, **12**, 881-891.
- BELL J. M., 1960. A comparison of fibrous feedstuffs in non ruminant rations. Effects on growth responses, digestibility, Rates of passage and ingesta volume. *Canad. J. Anim. Sci.*, **40**, 71-82.
- BOHMAN V. R., HUNTER J. E., McCORMICK J., 1955. The effect of graded levels of alfalfa and aureomycin upon growing fattening swine. *J. Anim. Sci.*, **14**, 499-506.
- BREIREM K., 1939. Der Energieumsatz bei den Schweinen. *Tierernährung.*, **11**, 487-528.
- BREIREM K., HUSBY M., PRESTHEGGE K., HOMB T., 1958. Zellulose als Futter für Schweine. *Zeitsch. Tierphys. Tierernähr. Futtermittelk.*, **13**, 129-142.
- CASTLE E. J., CASTLE M. E., 1956. The rate of passage of food through the alimentary tract of pigs. *J. Anim. Sci.*, **47**, 196-203.
- CHARLET-LÉRY G., ZELTER Z., 1956. Age et digestibilité chez le Porc. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **243**, 615-616.
- COEY W. E., ROBINSON K. L., 1955. Some effects of dietary crude fibre on live weight gains and carcass conformation of pigs. *J. Agric. Sci.*, **45**, 41-47.
- COCHRAN W. G., COX G. M., 1957. *Experimental designs*. 611 pp, John Wiley and sons, London.
- COLE D. J. A., DUCKWORTH J. E., HOLMES W., 1967. Factors affecting voluntary feed intake in pigs. I. The effect of digestible energy content of the diet on the intake of castrated male pigs housed in holding pens and in metabolism crates. *Anim. Prod.*, **9**, 141-148.
- COOPER P. H., TYLER C., 1959. Some effects of bran and cellulose on the water relationships in the digesta and faeces of pigs. I. The effects of including bran and two forms of cellulose in otherwise normal rations. II. The effects of adding different levels of fibrous cellulose to a highly digestible purified ration. III. The effect of level of water intake and level of cellulose in the ration on the dry-matter content of the faeces. *J. Agric. Sci.*, **52**, 332-339 ; 340-347 ; 348-351.
- CRAMPTON E. W., ASHTON G. C., LLOYD L. E., 1954. Improvement of bacon carcass quality by the introduction of fibrous feeds in the finishing ration. *J. Anim. Sci.*, **13**, 327-331.
- CRANWELL P. D., 1968. Microbial fermentation in the alimentary tract of the pig. *Nutr. Abst. Rev.*, **38**, 721-730.
- CUNNINGHAM H. M., FRIEND D. W., NICHOLSON J. W. G., 1962. The effect of age, body weight, feed intake and adaptability of pigs on the digestibility, and nutritive value of cellulose. *Canad. J. Anim. Sci.*, **42**, 167-175.
- DRENNAN P., MAGUIRE M. F., 1966. Relationship of metabolisable energy in pig feeds to composition. *Anim. Husb. Dairying Div. Anim. Sci. Div. Res. Rep.*, 113-114.
- ÉTIENNE M., 1969. Premiers résultats concernant les quantités d'acides gras volatils et d'acide lactique présentes dans le tube digestif du porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 131-136, I. N. R. A., Paris.
- FORBES R. M., HAMILTON T. S., 1952. The utilization of certain cellulosic materials by swine. *J. Anim. Sci.*, **11**, 480-490.
- FRIEND D. W., CUNNINGHAM H. M., NICHOLSON J. W. G., 1962. The production of organic acids in the pig. I. The effect of diet on the proportions of volatile fatty acids in pig feces. *Canad. J. Anim. Sci.*, **42**, 55-62.
- GUILLEMET R., JACQUOT R., 1943. Essai de détermination de l'indigestible glucidique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **216**, 508.

- HENRY Y., 1966. Variations des taux énergétique et azoté du régime chez le Porc en croissance. *IX^e Congrès International de Zootechnie*, Edimbourg.
- HENRY Y., 1968. Utilisation comparée des céréales comme seuls aliments du Porc pendant la période de finition. *Ann. Zootech.*, **17**, 183-197.
- HENRY Y., 1968. Influence des variations du taux de cellulose ou d'un diluant inerte du régime sur les performances de croissance et l'utilisation digestive des nutriments chez le Porc. *2nd world conference on Animal Production, Short Communications*, Univ. Maryland, College Park, U.S.A.
- HENRY Y., RÉRAT A., 1966. Utilisation des pommes de terre déshydratées et fraîches dans l'alimentation du Porc en croissance en comparaison avec l'orge. *Ann. Zootech.*, **15**, 231-251.
- HOCHSTETLER L. N., HOEFER J. A., PEARSON A. M., LUECKE R. W., 1959. Effect of varying levels of fiber of different sources upon growth and carcass characteristics of swine. *J. Anim. Sci.*, **18**, 1397-1404.
- JARRIGE R., 1961. Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères. I. Fractionnement des membranes par les hydrolases acides. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **1**, 163-212.
- KEYS J. E., JR., VAN SOEST P. J., YOUNG E. P., 1967. Digestibility of hemicellulose and cellulose in ruminants and non-ruminants. *J. Anim. Sci.*, **26**, 876 (abstr.), and *mimeograph, Agric. Res. Service*, U.S.D.A., Beltsville (Maryland).
- LARSEN L. M., OLDFIELD J. E., 1961. Improvement of barley ration for swine. III. Effect of fiber from barley hulls and purified cellulose in barley and corn rations. *J. Anim. Sci.*, **20**, 440-444.
- LAURENTOWSKA C., 1959. Capacité du porc à digérer la cellulose brute, la lignine, la cellulose et les pentosanes (en polonais). *Rocz. Nauk. Rol.* **74 B**, 567-578.
- LIKUSKI H. J. A., BOWLAND J. P., BERG R. T., 1961. Energy digestibility and nitrogen retention by pigs and rats fed diets containing non-nutritive diluents and varying in protein level. *Canad. J. Anim. Sci.*, **41**, 89-101.
- LLOYD L. E., CRAMPTON E. W., 1955. The apparent digestibility of the crude protein of the pig ration as a function of its crude protein and crude fibre content. *J. Anim. Sci.*, **14**, 693-699.
- MANGOLD M., 1934. The digestion and utilization of crude fibre. *Nutr. Abstr. Rev.*, **3**, 647-656.
- MERKEL R. A., BRAY R. W., GRUMMER R. H., PHILLIPS P. H., BOHSTEDT G., 1953. The influence of limited feeding by the use of high fiber rations upon growth, fattening and carcass characteristics of swine. (abstr.). *J. Anim. Sci.*, **12**, 903.
- MEYER J. H., 1958. Interactions of dietary fibers and protein on food intake and body composition of growing rats. *Amer. J. Physiol.*, **193**, 488-494.
- MITCHELL H. H., 1930. The paired-feeding method : its value and limitations in livestock experimentation. *Proc. Amer. Soc. Anim. Prod.*, 63-73.
- MITCHELL H. H., HAMILTON T. S., 1933. True and apparent digestibility of oat hulls and alfalfa meal by swine with special reference to the ability of swine to digest cellulose and crude fiber. *J. Agric. Res.*, **47**, 425.
- NEHRING K., 1966. Rohfaser oder Rohcellulose. Ein Beitrag zur Entwicklung der weender Futtermittel-analyse. *Arch. Tierernähr.*, **16**, 77-102.
- NEHRING K., SCHIEMANN R., HOFFMANN L., KLIPEL W., JENTSCH W., 1965. Utilization of the energy of cellulose and sucrose by cattle, sheep and pigs in BLAXTER K. L., *Energy Metabolism*. Acad. Press. London.
- PEARSON E. S., HARTLEY H. O., 1966. *Biometrika tables for statisticians*, Vol. I, 191-193, Cambridge. Univ. Press.
- POND W. G., LOWREY R. S., MANER J. H., 1962. Effect of crude fiber level on ration digestibility and performance in growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.*, **21**, 692-696.
- RÉRAT A., HENRY Y., 1964. Étude du besoin azoté chez le Porc en croissance. I. Utilisation de la farine de poisson à trois taux différents. *Ann. Zootech.*, **13**, 5-34.
- SEERLEY R. W., MILLER E. R., HOEFER J. A., 1962. Rate of food passage studies with pigs equally and *ad libitum* fed meal and pellets. *J. Anim. Sci.*, **21**, 834-837.
- SCOTT K. W., NOLAND P. R., 1959. Utilization of high fiber rations for breeding swine (abstr.). *J. Anim. Sci.*, **18**, 1161.
- TEAGUE H. S., HANSON L. E., 1954. The effect of feeding different levels of a cellulosic material to swine. *J. Anim. Sci.*, **13**, 206-214.
- VAN SOEST P. J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. Rapid Method for the determination of fiber and lignin. *J. A. O. A. C.*, **46**, 829-835.
- WHITING F., BEZEAU L. M., 1957. 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. The metabolic fecal nitrogen excretion of the pig as influenced by the type of fibre in the ration and by body weight. *Canad. J. Anim. Sci.*, **37**, 106-113.
- WOODMAN H. E., EVANS R. E., 1947. The nutritive value of fodder cellulose from wheat straw. I. Its digestibility and feeding value when fed to ruminants and pigs. *J. Agric. Sci.*, **37**, 202-210.
- WOODMAN H. E., EVANS R. E., 1947. The nutritive value of fodder cellulose from wheat straw. II. The utilization of cellulose by growing and fattening pigs. *J. Agric. Sci.*, **37**, 211-221.