

# ESSAI DE PREVISION DE LA VALEUR EN ENERGIE DIGESTIBLE DES ALIMENTS POUR LE PORC, A PARTIR DE LEURS TENEURS EN CONSTITUANTS MEMBRANAIRES

Y. HENRY (\*)

*Station de Recherches sur l'Elevage des Porcs  
Centre National de Recherches Zootechniques - 78 - Jouy-en-Josas  
Institut National de la Recherche Agronomique*

---

## INTRODUCTION

De nombreux travaux ont permis d'établir une relation étroite entre la valeur énergétique des aliments, chez le porc, et leurs teneurs en constituants membranaires (HENRY et ETIENNE, 1969). Cependant, selon la méthode choisie pour caractériser la fraction cellulosique de la ration et selon la nature des constituants de cette dernière, on observe des variations plus ou moins importantes dans les estimations des différents auteurs, ce qui réduit d'autant les possibilités de prévision de la valeur énergétique d'un régime à partir de sa composition chimique. Afin de mieux maîtriser les facteurs de variation de l'utilisation digestive de l'énergie par le porc en croissance, nous avons entrepris d'étudier les effets de l'introduction de proportions croissantes d'une source cellulosique définie (farine de luzerne déshydratée, son de blé) dans des régimes simplifiés, renfermant une céréale unique (blé, maïs ou orge), en prenant comme critère d'appréciation de la fraction cellulosique, soit la cellulose brute de WEENDE, soit les résidus d'extraction au détergent en milieu acide (« Acide Detergent Fiber » : A.D.F.) ou neutre (« Neutral Detergent Fiber » : N.D.F.), d'après les méthodes de VAN SOEST (1963), VAN SOEST et WINE (1967).

Quatre expériences de digestibilité ont été réalisées sur un effectif total de 64 porcs mâles castrés, de race Large-White et d'un poids vif moyen de 32,5 kg. La première a porté sur l'introduction de farine de luzerne déshydratée à raison de 0, 5, 10 et 15 % dans un régime à base de blé, supplémenté par un mélange d'acides aminés libres. Les trois suivantes ont consisté à faire varier le pourcentage de son de blé (0, 8, 16 et 24 %) dans des régimes renfermant du blé, du maïs ou de l'orge, en association, soit avec une farine de hareng de Norvège (dans le cas du blé), soit avec un tourteau de soja (dans le cas du maïs et de l'orge). Dans les quatre expériences, les animaux, à raison de 4 par régime, étaient soumis à un même niveau d'alimentation, soit respectivement 1,2 et 1,3 kg d'aliment frais/jour au cours de deux périodes de collecte consécutives de 6 jours.

Nous ne rapporterons ici que les résultats principaux de cette étude, un exposé détaillé devant être publié ultérieurement.

---

(\*) Avec la collaboration technique de A. GAYE et Janine JUNG.

## I. — INFLUENCE DU TAUX D'INCORPORATION DE LA SOURCE CELLULOSIQUE

A mesure qu'on élève le taux d'introduction de la source cellulosique dans le régime, on enregistre une diminution linéaire des coefficients d'utilisation digestive apparents (C.U.D.) (1) des différents constituants (matière organique, énergie, matières azotées), ce qui indique l'absence d'interaction entre l'apport de cellulose et la nature des composants de la ration, tout au moins dans les limites de variation considérées (entre 2 et 8 % de cellulose brute par rapport à la matière sèche). Ainsi, le C.U.D. de l'énergie (y) en fonction du taux d'aliment cellulosique (x) est donné par les relations suivantes :

— en fonction du pourcentage de farine de luzerne déshydratée :

• régime blé + acides aminés libres :  $y = 88,6 - 0,43x$   $r = - 0,998$

— en fonction du pourcentage de son de blé :

• régime blé-farine de poisson :  $y = 89,0 - 0,26x$   $r = - 0,995$

• régime maïs-soja :  $y = 89,1 - 0,45x$   $r = - 0,983$

• régime orge-soja :  $y = 89,5 - 0,24x$   $r = - 0,972$

Le C.U.D. de la matière organique suit une évolution sensiblement parallèle à celle du C.U.D. de l'énergie et présente une valeur systématiquement plus élevée. Il convient cependant de noter que l'écart entre ces deux coefficients n'est pas constant, mais varie en fonction du taux d'incorporation de la source cellulosique et de sa nature. D'après les résultats du tableau 1, il apparaît nettement que, pour une même céréale (blé), cet écart est moins important avec le son qu'avec la farine de luzerne, en raison probablement d'une digestibilité plus faible de cette dernière. De plus, il augmente avec le taux d'indigestible dans la ration, principalement dans le cas de régimes à valeur énergétique initiale élevée (blé, maïs) ; pour les régimes à base d'orge et de son de blé, au contraire, il est relativement constant et se situe entre 2,2 et 2,4.

TABLEAU 1

Evolution de l'écart entre le C.U.D. de la matière organique et le C.U.D. de l'énergie en fonction de la nature de la source cellulosique, de son taux d'incorporation et de la nature de la céréale

NATURE DE LA CÉREALE	1° Son de blé, p. 100				S $\bar{x}$ (a)
	0	8	16	24	
Blé	1,80	1,96	2,16	2,27	0,055 (5,4) **
Maïs	1,76	1,68	2,01	2,45	0,071 (7,2) **
Orge	2,18	2,20	2,36	2,32	0,073 (6,4) NS
	2° Farine de luzerne, p. 100				
	0	5	10	15	
Blé	1,99	2,33	2,71	2,88	0,058 (4,7) **

(a) S $\bar{x}$  : écart-type de la moyenne (entre parenthèses, coefficient de variation). Seuil de signification : \*\* : 0,01. NS : effet non significatif.

(1)  $\frac{\text{Elément ingéré} - \text{élément fécal}}{\text{Elément ingéré}} \times 100.$

A la suite de ces observations, il ne semble donc pas possible de procéder à une estimation directe du C.U.D. de l'énergie à partir du C.U.D. de la matière organique dans les calculs de prévisions de la valeur en énergie digestible des aliments (2).

Comme pour l'énergie, le C.U.D. azoté décroît linéairement en fonction du pourcentage d'aliment cellulosique, à l'exception des régimes à base d'orge pour lesquels on n'observe aucune différence significative. Le taux de diminution est cependant plus faible, soit de 0,32, 0,16, 0,34 et 0,086 respectivement pour les régimes « blé-luzerne », « blé-son », « maïs » et « orge ».

## II. — RELATION ENTRE LE C.U.D. DE L'ENERGIE ET LE POURCENTAGE DE CONSTITUANTS MEMBRANAIRES (Voir graphique n° 1, page 63.)

Après avoir dosé les constituants membranaires dans les 16 régimes expérimentaux, soit par la méthode de WEENDE (cellulose brute), soit par les méthodes de VAN SOEST (A.D.F., N.D.F.), nous avons procédé à une analyse de régression du C.U.D. de l'énergie sur le pourcentage de substances cellulosiques par rapport à la matière sèche (x) :

— cellulose brute	:	C.U.D.E. = 96,31 — 2,98 x	
		s      1,71    0,32	r = — 0,929
— A.D.F.	:	C.U.D.E. = 95,42 — 2,20 x	
		s      1,54    0,21	r = — 0,943
— N.D.F.	:	C.U.D.E. = 96,36 — 0,872 x	
		s      1,47    0,079	r = — 0,947

s étant l'écart-type résiduel du coefficient de régression et r le coefficient de corrélation.

Pour chacune des trois méthodes de dosages, on observe une corrélation élevée (r) entre le C.U.D. de l'énergie et la teneur en substances cellulosiques ; l'écart-type résiduel (s) est cependant légèrement plus faible lorsque l'on prend en considération les teneurs en A.D.F. et N.D.F. Il est intéressant de remarquer que l'équation obtenue à partir de la cellulose brute est assez proche de celles proposées par ailleurs par NIELSEN (1970), ainsi que par DRENNAN et MAGUIRE (1970), pour des porcs en croissance recevant le même type de régime (figure 1). De la même façon, l'équation reliant le C.U.D.E. à la teneur en A.D.F. s'écarte assez peu de celle trouvée par ailleurs par DRENNAN et MAGUIRE (1970).

## III. — RELATION ENTRE LE CONTENU ENERGETIQUE DE LA MATIERE FECALE ET LE TAUX DE CONSTITUANTS MEMBRANAIRES

(Voir graphique n° 2, page 64.)

Nous avons essayé d'expliquer l'écart entre le C.U.D. de la matière organique et celui de l'énergie en calculant la teneur en énergie brute de la matière organique fécale. Les variations de cette dernière en fonction du taux de constituants membranaires (cellulose brute, A.D.F., N.D.F.) sont illustrées dans la figure 2. L'analyse de la régression permet cette fois de dégager des différences selon la nature de la source cellulosique. Il apparaît clairement, d'après les graphiques 2a et 2b, que lorsque les pourcentages de matières cellulosiques sont exprimés en cellulose brute ou en A.D.F., les valeurs observées avec la farine de luzerne s'écartent de celles enregistrées avec le son. Au contraire,

(2) La même critique peut être faite du calcul de l'énergie digestible (ou métabolisable) à partir des TDN (NRC, 1968).

lorsqu'on rapporte le contenu énergétique de la matière organique fécale à la teneur en N.D.F., qui représente l'ensemble de la fraction indigestible de la ration (cellulose + hémicelluloses + lignine + silice), les points s'alignent sur une même droite, suivant l'équation :

$$y = 5621 - 21,65 x$$

$s$       33,4    4,78                   $r = -0,956$   
 $\pm 0,63 \%$

y étant exprimé en kcal d'énergie par kilogramme de matière organique fécale, et x le pourcentage de N.D.F. dans la ration sèche. L'analyse de régression sur les teneurs en cellulose brute et en A.D.F., pour la totalité des données (tableau 2), aboutit à des coefficients de corrélation nettement plus faibles, soit respectivement  $-0,84$  et  $-0,85$  ; il suffit par contre de supprimer les données relatives à la farine de luzerne pour obtenir des corrélations voisines de celle observée avec le N.D.F.

TABLEAU 2

**Relation entre le contenu énergétique de la matière organique fécale (y), en kcal/kg, et le taux de constituants membranaires (x)**

Equation de régression :  $y = a + bx$

	x	a	b	sy, x	s <sub>b</sub>	r
Ensemble des données	Cellulose brute	5584	— 66,06	62,3 (1,18)	11,59	— 0,836
	A.D.F.	5564	— 48,83	66,7 (1,14)	8,17	— 0,848
	N.D.F.	5621	— 21,65	33,4 (0,63)	1,78	— 0,956
Son de blé seulement	Cellulose brute	5632	— 78,43	42,9 (0,81)	9,42	— 0,935
	A.D.F.	5580	— 54,19	39,7 (0,75)	5,96	— 0,944
	N.D.F.	5608	— 21,25	28,3 (0,54)	1,61	— 0,972

sy, x : écart-type résiduel (entre parenthèses, valeur en %).

s<sub>b</sub> : écart-type du coefficient de régression.

r : coefficient de corrélation.

#### IV. — DISCUSSION

Les résultats précédents nous ont montré qu'il est possible de prévoir la valeur énergétique des aliments pour le porc à partir du taux de constituants membranaires (cellulose brute, A.D.F., N.D.F.). En raison de l'absence d'interaction entre les composants de la ration, les relations trouvées sont valables aussi bien pour les aliments simples que pour la ration entière, mais à condition que la teneur globale en substances cellulosiques dans cette dernière se situe à l'intérieur des limites considérées. Lorsqu'elle est exprimée en énergie digestible, la valeur énergétique est ainsi donnée par la relation :

$$E.D., \text{ kcal/kg} = E.B., \text{ kcal/kg} \times C.U.D.E.$$

E.B. étant l'énergie brute, en kcal/kg, et C.U.D.E. le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie, qui est obtenu à l'aide des équations précédentes en fonction des pourcentages de cellulose brute, d'A.D.F. ou de N.D.F. Il convient de préciser que cette relation s'applique à des régimes à base

de céréales et de tourteaux, renfermant une faible quantité de matières grasses (de l'ordre de 2 %) et un taux de cellulose brute compris entre 2 et 8 % de la ration sèche. L'énergie brute (E.B.) peut être estimée avec une précision suffisante à partir de la composition chimique globale :

- soit en utilisant les coefficients d'ATWATER et BRYANT (1903), respectivement 4,1, 5,7 et 9,4 kcal/g de glucides, de protéines et de lipides ;
- ou mieux, en utilisant la formule de NEHRING (1970) qui a été établie directement pour les aliments consommés par le porc :

$$\text{E.B., kcal/kg} = 5,72 \text{ M.A.T.} + 9,50 \text{ M.G.} + 4,79 \text{ C.B.} + 4,17 \text{ E.N.A.} \pm 0,9 \%$$

M.A.T., M.G., C.B. et E.N.A. étant respectivement les quantités de matières azotées totales, de matières grasses, de cellulose brute et d'extractif non azoté, en g/kg.

Dans une publication précédente (HENRY et GAYE, 1969), nous avons indiqué que la fraction N.D.F., qui concerne l'ensemble des constituants membranaires (en particulier la cellulose et les hémicelluloses), permet de mieux rendre compte des variations de l'utilisation digestible de l'énergie que les taux de cellulose brute ou d'A.D.F., qui représentent une fraction seulement de ces derniers. D'après les travaux récents de KEYS et al. (1969), il apparaît effectivement que les hémicelluloses sont aussi faiblement digérées que la cellulose par le porc ; compte tenu d'une digestibilité et d'une teneur en énergie équivalentes, il est dès lors préférable de regrouper ces deux constituants dans une même fraction dite « holocellulose », plutôt que de les considérer séparément (FONNESBECK et HARRIS, 1970).

Ainsi qu'il ressort de la présente étude, l'énergie excrétée dans la matière organique fécale est en relation directe avec le taux d'indigestible, c'est-à-dire avec l'ensemble cellulose - hémicelluloses, dosé par la méthode N.D.F. Au contraire, la cellulose et l'A.D.F. ne traduisent que partiellement les variations du contenu énergétique de la matière organique fécale. La diminution de celui-ci, lorsque le taux d'ingestible augmente, s'explique en réalité par une teneur en énergie des protéines et des lipides plus élevée que celle de la fraction cellulosique, qui produit ainsi un effet de dilution de l'énergie initiale de la matière organique fécale. Dans ces conditions, il est clair que pour un taux de cellulose brute donné, l'énergie contenue dans la matière organique fécale diminue plus rapidement avec le son qu'avec la farine de luzerne, en raison précisément d'une proportion plus élevée d'hémicellulose. Nous voyons également que lorsqu'on relie le taux de constituants membranaires directement à l'énergie excrétée dans les fèces, on fait ressortir, selon la nature de la source cellulosique, des différences qui n'apparaissent pas lorsqu'on prend en considération un coefficient (C.U.D.E.) dont les variations relatives sont fortement tamponnées par les quantités ingérées.

La relation ainsi établie entre le contenu énergétique de la matière organique fécale et le taux de constituants membranaires nous permet d'estimer la valeur en énergie digestible d'un aliment ou d'une ration simplement à partir du coefficient d'utilisation digestive de la matière organique (C.U.D.M.O.) (3), suivant l'équation :

$$\text{E.D.} = \text{E.B.} - \text{M.O.} \times \frac{(100 - \text{C.U.D. M.O.})}{100} \times (5,621 - 0,02165 \text{ N.D.F.})$$

kg/kg M.S.
kcal/kg M.S.
g/kg M.S.
% M.S.

(3) qui est déterminé directement, au cours d'un essai de digestibilité, ou estimé d'après les données bibliographiques, pour des régimes de même nature.

E.B. étant l'énergie brute et M.O. la matière organique. Il convient de rappeler que cette formule n'est utilisable que dans les limites précitées (soit entre 2 et 8 % de cellulose brute, ou entre 8 et 26 % de N.D.F. par rapport à la matière sèche).

### CONCLUSION

L'introduction d'une source cellulosique dans une ration à base de céréales chez le porc en croissance, à des taux de cellulose brute compris entre 2 et 8 % de la matière sèche, entraîne une diminution du coefficient d'utilisation digestive de l'énergie, suivant une relation linéaire. L'absence d'interaction entre les composants de la ration, tout au moins dans les limites considérées, permet d'estimer indifféremment la valeur énergétique de la ration totale et celle des aliments simples. A l'aide de l'équation ainsi obtenue, on peut prévoir la valeur en énergie digestible à partir du taux de constituants membranaires, compte tenu de la méthode de dosage utilisées (cellulose brute de WEENDE, A.D.F. ou N.D.F. selon VAN SOEST). De l'étude des variations du contenu énergétique de la matière organique fécale, il ressort en outre que les constituants membranaires totaux (cellulose + hémicellulose + lignine) représentent le meilleur critère pour la prévision de l'utilisation digestive de l'énergie par le porc, tandis que la cellulose brute ne rend compte que d'une manière imparfaite des variations observées. La valeur en énergie digestible peut être ainsi estimée simplement à partir du C.U.D. de la matière organique et du taux de constituants membranaires dans la ration.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATWATER W.O., BRYANT A.P., 1903 - U.S. Dept. Agr. Bull., 28.  
 DRENNAN P., MAGUIRE M.F., 1970 - Ir. J. Agric. Res., 9, 197-202.  
 FONNESBECK P.V., HARRIS L.E., 1970 - J. anim. Sci., 21, 240.  
 HENRY Y., ETIENNE M., 1969 - Ann. Zootech., 18, 337-357.  
 HENRY Y., GAYE A., 1969 - Journées de la Recherche Porcine en France, I.N.R.A., Paris, 83-89.  
 KEYS J.E., Jr., VAN SOEST P.J., YOUNG E.P., 1969 - J. Anim. Sci., 28, 11-15.  
 N.R.C. (National Research Council), 1968 - Nutrient requirements of swine, Washington, D.C., pub. 1599.  
 NEHRING K., 1970 - In SCHURCH A., WENK C. Energy metabolism of farm animals, 257-259, Juris Druck Verlag, Zurich.  
 NIELSEN J., 1970 - Beretning fra Forsogslaboratoriet, 381, 212.  
 VAN SOEST P.J., 1963 - J. AOAC, 46, 829-835.  
 VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1967 - J. AOAC, 50, 50-55.

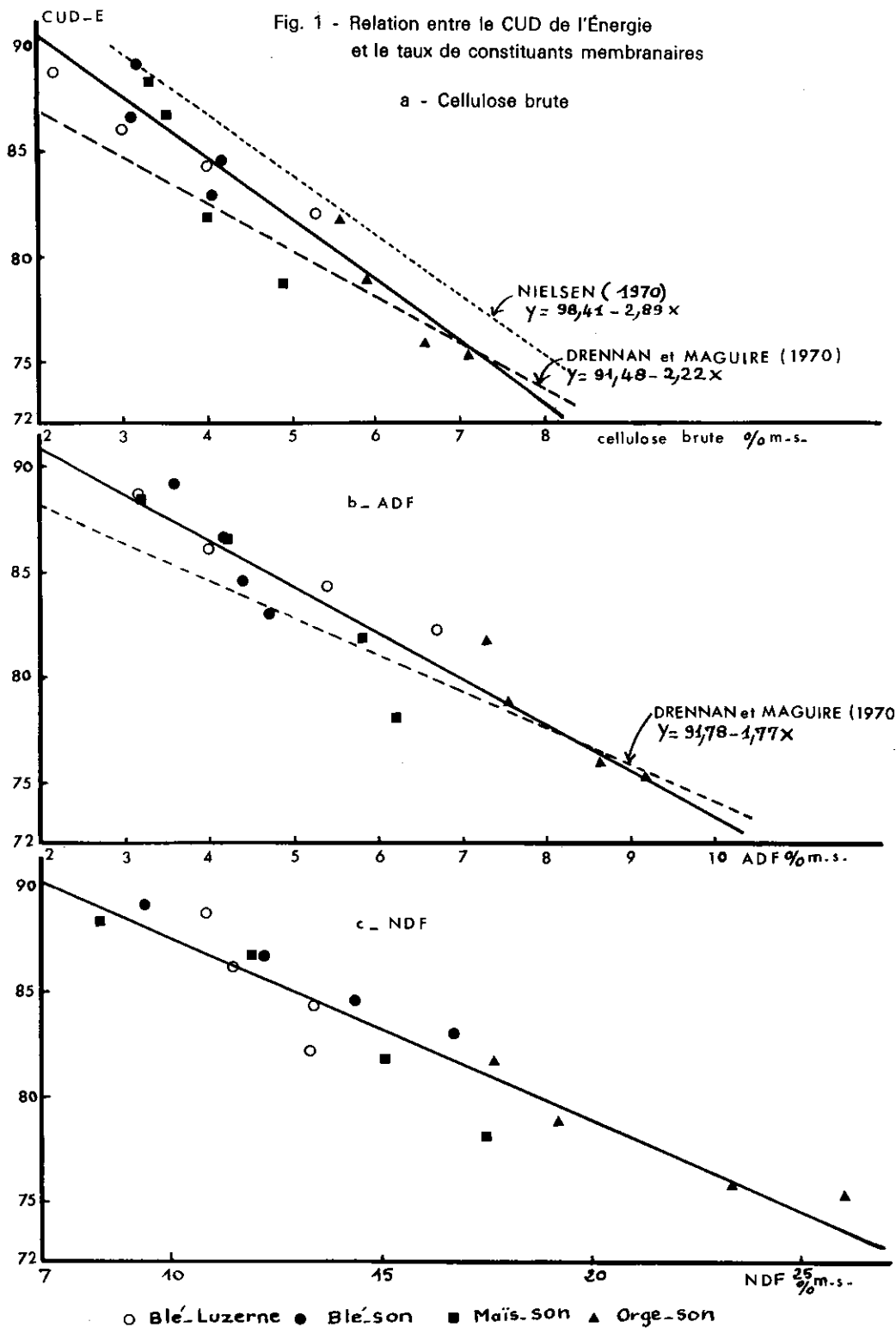


Fig. 1 - Relation entre le contenu énergétique de la Matière Organique fécale, en kcal/kg, et le taux de constituants membranaires

