

ALIMENTATION ENERGETIQUE DU PORC

Y. HENRY et M. ETIENNE

Station de Recherches sur l'Élevage des Porcs
I.N.R.A. - C.N.R.Z. - 78350 Jouy-en-Josas

L'apport énergétique revêt une importance essentielle dans l'alimentation du porc, du point de vue tant quantitatif que qualitatif. Sur le plan pondéral, la totalité de la matière organique de la ration (de l'ordre de 95 % de la matière sèche) contribue à la fourniture de l'énergie nécessaire à la couverture des besoins spécifiques pour l'entretien et les productions (croissance, gestation, lactation). Le besoin énergétique est ainsi étroitement lié à la quantité d'aliment consommé par les animaux.

Pour ce qui est des conséquences sur les performances, il est bien connu qu'un excès d'énergie alimentaire entraîne un développement exagéré des dépôts gras, et par voie de conséquence une détérioration de la qualité des carcasses à l'abattage. Inversement, un apport insuffisant d'énergie provoque, outre une réduction des dépôts gras, un ralentissement plus ou moins prononcé de la croissance du tissu musculaire. C'est dire l'importance de l'optimisation de l'apport d'énergie pour l'extériorisation des performances souhaitées.

Dans cette revue sur l'alimentation énergétique du porc, nous ferons le point, dans un premier temps, sur les problèmes liés à l'utilisation digestive et métabolique de l'énergie et leur incidence sur le choix d'un système d'évaluation de l'énergie des aliments. Nous aborderons ensuite successivement l'alimentation énergétique chez le porc en croissance et la truie reproductrice, pour aboutir dans les deux cas à des propositions de recommandations d'apport énergétique.

I - LE POINT ACTUEL SUR L'UTILISATION DE L'ENERGIE PAR LE PORC

A - Signification du besoin énergétique

Le besoin énergétique chez le porc est représenté par les quantités de nutriments nécessaires face aux dépenses d'entretien (métabolisme de base, pertes endogènes, activité physique, thermorégulation) et de production, d'une façon générale pour la formation des dépôts corporels (protéines, lipides) et occasionnellement pour les exportations (production de lait chez la truie).

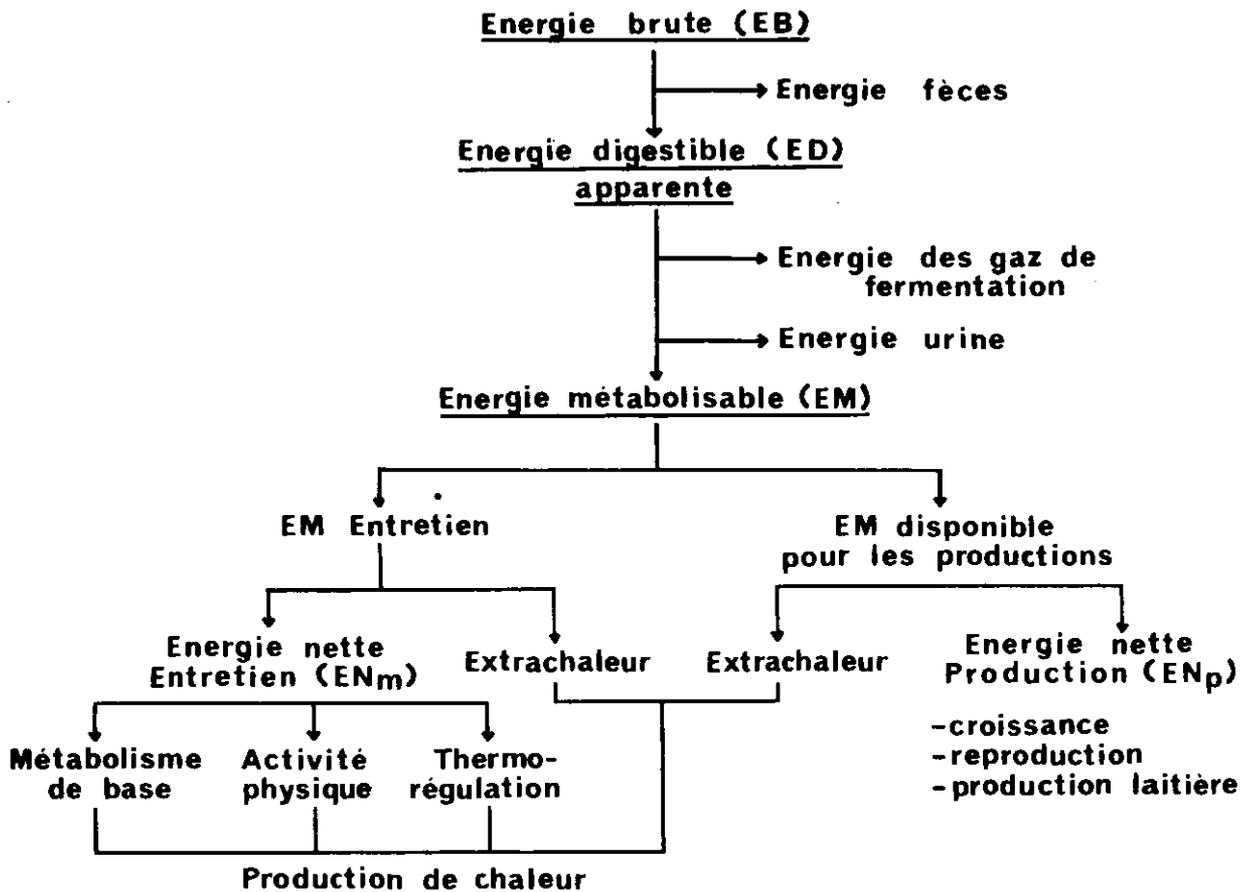
Du point de vue de la signification du besoin énergétique, la couverture de ces dépenses implique :

- un apport d'énergie *sensu stricto*, sous forme de transporteurs d'énergie (principalement l'adénosine triphosphate ou ATP) provenant des oxydations cellulaires, pour couvrir à la fois les dépenses d'entretien (avec une production résultante de chaleur) et les besoins pour les synthèses tissulaires.
- la fourniture d'éléments de construction pour les biosynthèses : par exemple, les acides aminés pour la synthèse des protéines, les acides gras et le glycérol pour la synthèse des lipides.

Les équivalents-énergie ATP, comme les substrats nécessaires pour les dépôts ou les exportations, sont fournis principalement par l'alimentation, mais aussi dans une certaine mesure par les dépôts corporels (essentiellement lipidiques et accessoirement protéiques). La mobilisation de ces derniers peut être importante au cours de très fortes dépenses, ainsi en début de lactation, ou lors d'une sous-consommation momentanée, consécutivement au sevrage par exemple. Dans tous les cas, la transformation de l'énergie apportée par les nutriments au niveau des tissus, représentée par l'énergie métabolisable (EM), s'accompagne d'une production de chaleur (ou extra-chaleur) provenant de leur métabolisation jusqu'au stade final de l'entretien et des productions, et qui s'ajoute à la production de chaleur pour l'entretien.

L'énergie métabolisable est elle-même le résultat d'une transformation de l'énergie brute ingérée (EB), au cours de la digestion des nutriments et de leur excrétion partielle par l'urine et les gaz de fermentation, ce qui conduit à la représentation schématique de l'utilisation de l'énergie décrite dans la figure 1.

FIGURE 1
SCHEMA GENERAL DE L'UTILISATION DE L'ENERGIE



En définitive, sur le plan pratique, l'énergie ingérée par l'animal subit une série de dégradations jusqu'à l'énergie nette (EN), qui correspond directement aux dépenses de l'animal pour son entretien et ses productions, et s'exprime en kilocalories (kcal) (1) ou en kilojoules (kJ), sur la base de l'équivalence : 1 kcal = 4,18 kJ. Dans l'ordre des approximations, le besoin énergétique peut ensuite être représenté respectivement par l'énergie métabolisable et l'énergie digestible (ED), mais en aucune façon par l'énergie brute, compte tenu de l'importance considérable des pertes fécales et de leur très grande variabilité. Il convient de remarquer à ce propos que les valeurs apparentes de ED et EM permettent de prendre en considération les pertes d'énergie d'origine endogène (synthèse des enzymes digestives en particulier) dans le bilan final de l'utilisation de l'énergie.

Ces quelques remarques générales font de plus ressortir la nécessaire interdépendance entre l'apport énergétique et l'alimentation azotée, ne serait-ce que par les transformations énergétiques impliquées dans l'élaboration des protéines corporelles ou exportées. Il en résulte que l'obtention de performances optimales implique une certaine relation d'équilibre entre les apports énergétiques et azotés. Aussi, dans la suite de cette revue sur l'alimentation énergétique du porc, nous ferons l'hypothèse que cette relation d'équilibre est vérifiée, c'est-à-dire que les acides aminés indispensables et les matières azotées se trouvent en quantités suffisantes dans la ration pour l'extériorisation des potentialités des animaux.

(1) 1 Mcal (Mégacalorie) = 1000 kcal.

B - Les étapes de l'utilisation de l'énergie

1. Utilisation digestive de l'énergie, énergie digestible et énergie métabolisable

L'énergie digestible et l'énergie métabolisable constituent les deux premières étapes de l'utilisation de l'énergie par le porc.

1.1. Utilisation digestive de l'énergie et énergie digestible

La valeur en énergie digestible de la ration (ED) est le produit du contenu en énergie brute (EB) par le coefficient d'utilisation digestive apparent de l'énergie (CUDE, en fraction décimale) :

$$ED \text{ (kcal)} = EB \text{ (kcal)} \times \frac{CUDE}{100}$$

Le CUD de l'énergie peut être déterminé, d'une façon globale, au cours d'essais de digestibilité, à partir des contenus en énergie des ingesta et des excréta fécaux. En réalité, si l'on prend en considération la composition de l'aliment, l'énergie digestible est fournie par les différents constituants chimiques de la matière organique. Le CUD de l'énergie est alors la résultante des CUD apparents des constituants chimiques de l'aliment, compte tenu de leurs contributions respectives à l'apport total d'énergie. La valeur en énergie digestible peut ainsi être obtenue par sommation des produits des contenus énergétiques des diverses fractions (glucides solubles, glucides membranaires, matières grasses, matières azotées) par leurs CUD apparents correspondants :

$$ED \text{ (kcal)} = \sum_i EB_{\text{constituant } i} \times CUD_a_{\text{constituant } i}$$

Il revient au même de relier directement la valeur énergétique aux teneurs en principes digestibles (d_j), affectés chacun d'un coefficient particulier c_j (valeur ED, en kcal/g de principe digestible), selon le mode de fractionnement des composants chimiques de la ration :

$$ED \text{ (kcal)} = \sum_j c_j d_j$$

Sur la base de la méthode de Weende (fractionnement de la matière organique en matières azotées, matières grasses, cellulose brute et extractif non azoté), SCHIEMANN et al. (1972) ont ainsi proposé l'équation suivante pour la prédiction de la valeur ED :

$ED \text{ (kcal)} = 5,78 \text{ MAD} + 9,42 \text{ MGD} + 4,40 \text{ CBD} + 4,07 \text{ ENAD} \pm 74,0 (\pm 1,0 \%)$; MAD, MGD, CBD et ENAD étant respectivement les quantités digestibles de matières azotées, matières grasses, cellulose brute et extractif non azoté, en g. Les valeurs des coefficients, obtenues par régression statistique, représentent une estimation du contenu énergétique de chacun des constituants chimiques. Elles sont donc proches de celles trouvées par les mêmes auteurs dans l'équation de prédiction de la teneur en énergie brute des aliments à partir de données recueillies pour des rations entières :

$$EB \text{ (kcal)} = 5,72 \text{ MAT} + 9,50 \text{ MG} + 4,79 \text{ CB} + 4,17 \text{ ENA} + \Delta_j$$

MAT, MG, CB et ENA étant respectivement les teneurs en matières azotées ($N \times 6,25$), matières grasses, cellulose brute et extractif non azoté, et Δ_j un facteur de correction pour une classe d'aliments déterminée. Dans le cas particulier des aliments riches en disaccharides (lactose, saccharose) et en glucides simples (glucose), il y a lieu notamment de corriger le coefficient de la fraction glucidique (ENA) respectivement sur la base de $-0,15$ et $0,30$ kcal/g.

Les variations du CUD de l'énergie en fonction de la composition de la ration sont expliquées en premier lieu par l'importance quantitative et qualitative des glucides membranaires (cellulose, hémicelluloses, lignine). Comparativement à l'amidon et aux glucides solubles, qui sont très hautement digestibles (95 à 100 %), la cellulose et les hémicelluloses ont en effet une digestibilité relativement faible chez le porc, respectivement 30 et 40-50 % en moyenne, tandis que la lignine est pratiquement indigestible (FONNESBECK et al., 1974). Cette utilisation digestive partielle des glucides membranaires (dégradation par voie microbienne et production d'acides gras volatils) est de plus accompagnée d'un effet dépressif sur l'utilisation digestive apparente des autres constituants du régime, et principalement des matières azotées (HENRY et ETIENNE, 1969).

L'accroissement du taux de constituants membranaires totaux ou résidu NDF ("Neutral Detergent Fiber"), dosé par la méthode de VAN SOEST et WINE (1967) dans une gamme relativement étendue de régimes

à base de céréales, son de blé et farine de luzerne déshydratée (HENRY, 1976) a permis d'observer une diminution linéaire du CUD de l'énergie, suivant la relation :

$$\text{CUD E} = 96,71 - 0,886 \text{ NDF } \% \text{ MS} ; r = - 0,959.$$

En fait, en raison des différences d'utilisation digestive de la cellulose et des hémicelluloses, le taux de diminution du CUDE varie légèrement en fonction de la composition du résidu NDF, dans le cas d'un fractionnement empirique en lignocellulose (cellulose + lignine), par le dosage du résidu ADF ("Acid Detergent Fiber"), selon VAN SOEST (1963), et en hémicelluloses, représentées approximativement par la différence (NDF - ADF) :

$$\text{CUD E} = 96,30 - 1,39 \text{ ADF} - 0,56 (\text{NDF} - \text{ADF}) ; R^2 = 0,913 \text{ (HENRY, 1976)}.$$

Dans le cas de la cellulose brute, qui ne recouvre qu'une partie seulement des glucides membranaires, en excluant notamment les hémicelluloses, son introduction à taux croissants dans la ration entraîne de la même façon une décroissance linéaire du CUD de l'énergie, comme le montre l'équation suivante (HENRY, 1971) :

$$\text{CUD E} = 96,31 - 2,98 \text{ CB } \% \text{ MS} ; r = -0,93 ; s_{y, x} = \pm 1,71$$

Mais cette fois, le taux de diminution du CUD E par point de cellulose brute varie très fortement en fonction de la composition des constituants membranaires, et principalement en fonction de la fraction non dosée des hémicelluloses. Il est d'autant plus élevé que la teneur en hémicelluloses est elle-même plus importante, ce qui explique une marge importante de variation : entre 1 et 2 points pour les substances constituées principalement de cellulose et de lignine (téguments de graines, farine de luzerne), entre 2 et 3 points pour les substances riches en hémicelluloses (issues de meunerie par exemple), comme l'indique le tableau 1.

TABLEAU 1

FACTEURS DE CORRECTION DU CUD DE L'ENERGIE EN FONCTION DE LA TENEUR EN CELLULOSE BRUTE DE L'ALIMENT (% MATIERE SECHE)

ALIMENT	FACTEUR DE CORRECTION (1)	REFERENCES
Son de blé	3,0	HENRY (1976)
Gluten feed.	2,6	BOURDON et HENRY (1974)
Avoine	2,2	THOMKE (1960)
Farine de luzerne déshydratée	2,1	HENRY (1976)
Orge	1,5	HENRY et BOURDON (1975)
Féverole	1,2	HENRY et BOURDON (1973)
Pois	1,2	BOURDON et HENRY (1973)
Pulpe de betterave	1,1	CHAUVEL et al. (1975)

(1) Taux de diminution du CUDE pour 1 % d'augmentation du taux de cellulose brute % M.S.

L'évolution linéaire du CUDE en fonction de la teneur en substances cellulosiques confirme l'absence d'interaction entre les composants de la ration dans une zone relativement large de variation du taux de cellulose brute (généralement entre 2 et 12 % par rapport à la matière sèche). La valeur ED de la ration entière pour le porc peut dès lors être obtenue par simple addition des valeurs énergétiques des aliments simples qui la composent.

En définitive, la simple connaissance de la teneur en cellulose brute d'un aliment ne permet de prédire son CUD de l'énergie, et dès lors sa valeur ED, que si son origine est bien précisée, c'est-à-dire la composition de sa fraction glucidique membranaire. En d'autres termes, dans une classe d'aliments homogènes du point de vue de leur composition en substances cellulosiques, on peut, à partir d'une composition moyenne, corriger la valeur ED en fonction de la teneur en cellulose brute. Un tel exemple est donné dans le tableau 2 (cas de l'orge).

TABLEAU 2

CORRECTION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DE L'ORGE EN FONCTION DU TAUX DE CELLULOSE BRUTE
(HENRY et BOURDON, 1975)

CELLULOSE BRUTE % ALIMENT FRAIS	3	4	5	6	7
CUD E	85,5	83,7	81,8	80,0	78,0
CUD N	80,6	79,5	78,3	77,1	76,0
ED, Kcal/kg (1)	3230	3150	3080	3000	2930
EM, Kcal/kg (1) (2)	3100	3020	2960	2880	2810

(1) Aliment frais

(2) Sur la base de EM/ED = 0,96.

Inversement, pour un ensemble d'aliments hétérogènes du point de vue de leur composition en glucides de structure (aliments composés), il est possible de prévoir avec une approximation satisfaisante la valeur ED à partir de la teneur en constituants membranaires (résidu NDF par exemple) ou tout au moins à partir des proportions respectives de lignocellulose et d'hémicelluloses, grâce aux dosages d'ADF et de NDF.

Contrairement à ce que l'on observe chez les ruminants, les variations du niveau d'alimentation n'exercent qu'une influence très limitée sur l'utilisation digestive de l'énergie chez le porc (De GOEY et EWAN, 1975). Il en est de même en fonction de l'âge, en dehors cependant de la période du sevrage, caractérisée par une adaptation progressive aux nouvelles caractéristiques nutritionnelles de l'aliment (AUMAITRE, 1965).

Le CUD de l'énergie est par ailleurs très faiblement influencé par le sexe et le type génétique, ce qui n'a rien de surprenant si l'on considère le faible coefficient de variation de ce critère (1 à 2 %). C'est ce qui ressort de comparaisons entre races, entre croisements ou intra races (OLLIVIER et HENRY, 1977 : tableau 3).

TABLEAU 3

VARIATION DE L'UTILISATION DIGESTIVE DE L'ENERGIE EN FONCTION DU TYPE GENETIQUE (1)
(SHARMA et al., 1971)

RACE	YORKSHIRE		LACOMBE
CUD E	88,6	NS	88,3
ED, Mcal/kg M.S.	3,92	NS	3,90
EM, Mcal/kg M.S.	3,74	NS	3,72
EM % ED	95,5	NS	95,3

(1) Porcelets de 30 kg de poids vif environ.

NS : effet non significatif.

Il faut toutefois préciser que les variations génétiques de l'utilisation digestive de l'énergie ont été mesurées généralement dans une gamme relativement étroite de rations de type concentré. Il n'est pas exclu que des variations plus importantes n'apparaissent dans le cas de l'utilisation de régimes nettement plus diversifiés, sur le plan tant de l'encombrement que du taux d'hydratation et des caractéristiques chimiques, dans le contexte d'une récupération croissante de produits qui s'écartent des profils habituels.

1.2. Energie métabolisable

Le terme initial de l'énergie susceptible de transformations au niveau des tissus pour les besoins de l'organisme est représenté par l'énergie métabolisable.

Devant l'impossibilité de déterminer l'EM vraie (énergie des fermentations digestives indissociable de l'extrachaleur, imprécision des fractions endogènes fécales et urinaires), il y a lieu de considérer l'EM appa-

rente, obtenue à partir de l'ED apparente après déduction des pertes d'énergie dans l'urine et les gaz de fermentation intestinale :

$$EM_a = ED - (E_{n.urine} + E_{n.CH_4})$$

Mais, comme l'énergie digestible, l'EM apparente permet d'intégrer les pertes endogènes dans le besoin énergétique global.

Dans le cas particulier du porc, la faible contribution des gaz de fermentation (CH_4) dans les dépenses énergétiques totales, tout au moins chez le porc en croissance (1,1 % de l'ED selon BOWLAND et al., 1970 ; 0,6 % de l'énergie brute d'après BREIREM 1939 et VERSTEGEN, 1971 ; seulement 0,35 % de l'énergie brute chez des jeunes porcs, entre 8 et 40 kg de poids vif, d'après HOFFMANN et al., 1977a) conduit à négliger cette fraction des pertes énergétiques dans l'estimation de la valeur EM. Remarquons cependant que chez le porc adulte, et notamment chez la truie, la part de l'énergie des gaz de fermentation est beaucoup plus élevée, puisqu'elle peut atteindre 4 % de l'énergie digestible, soit une proportion voisine de celle de l'énergie urinaire. Dans ce dernier cas, l'absence de correction en fonction des pertes de méthane risque d'aboutir à une surestimation de la valeur EM par rapport à la valeur vraie.

Etant donné la part dominante de la fraction azotée (urée, NH_3 , allantoïne, acide urique, créatinine...) dans l'excrétion urinaire, la valeur EM est étroitement dépendante de l'importance de l'excrétion azotée urinaire, elle-même fonction de l'apport azoté quantitatif et qualitatif. Pour éviter toute interférence des conditions de nutrition azotée au niveau de la valeur EM, il a été souvent proposé, pour les porcs comme pour les volailles, de corriger l'EM pour un bilan azoté nul (EM_n), c'est-à-dire dans le cas d'une désamination complète. Cela revient à supposer que les acides aminés sont utilisés en totalité à des fins énergétiques et que la totalité de l'azote est excrétée dans l'urine. La correction est alors établie à partir du bilan azoté (positif ou négatif), sur la base de la formule :

$$EM_n = EM_a - (\text{Bilan N}) \times C$$

Le coefficient C (Kcal/g d'N du bilan) choisi pour la correction peut prendre diverses valeurs : 7,46, d'après les résultats de RUBNER (1902) sur chien ; 6,77, selon DIGGS et al. (1965), à partir de régimes renfermant un large excès de protéines ; soit plus simplement le contenu énergétique par g d'N dans l'urée (composant principal de la fraction azotée urinaire : 75 à 80 %), soit 5,42.

La valeur EM corrigée pour un bilan azoté nul, pour un aliment comme pour une ration complète, est ainsi, en première approximation, fonction de leur richesse en matières azotées, comme le montrent les relations ci-après :

$$EM \text{ (Kcal)} = (0,96 - 0,00202 \text{ MAT } \%) \text{ ED} \quad (\text{NRC, 1973}).$$

$$EM_n \% \text{ ED} = 97,25 - 0,2842 \text{ MAT } \% \text{ MS} ; r = -0,929 \quad (\text{d'après MORGAN et al., 1975}).$$

Comme les porcs sont généralement en état d'anabolisme protidique (croissance, reproduction), il est cependant préférable de corriger la valeur EM pour un niveau de rétention azotée donnée, par exemple pour un coefficient de rétention de 50 ou 60 %, correspondant à un équilibre azoté optimal de la ration. En représentant par N_d et N_r les quantités respectives d'azote absorbée et fixée, la valeur EM corrigée pour un coefficient de rétention azotée de 50 % (EM_{50}) est donnée par l'équation :

$$EM_{50} = EM_a - (N_r - 0,5 N_d) \times C.$$

En réalité, l'énergie métabolisable n'a de signification précise que si elle est mesurée dans un régime convenablement équilibré en acides aminés, entraînant un catabolisme azoté minimal. En dehors de ces conditions, les valeurs EM ne sauraient obéir à la règle d'additivité. Ceci implique que les valeurs EM des aliments simples doivent être mesurées dans des rations équilibrées, de préférence aux voies habituelles de substitution d'un composant d'une ration de base ou d'addition d'un supplément à cette dernière.

Quoi qu'il en soit, dans le cas de régimes normalement équilibrés en acides aminés, la valeur EM représente de l'ordre de 95 à 97 % de la valeur ED.

Comme pour l'énergie digestible, la valeur EM peut être estimée à partir des teneurs en éléments digestibles, comme le propose JUST NIELSEN (1970) pour le porc en croissance (entre 20 et 90 kg de poids vif) :

$$EM = 5,1 \text{ MAD} + 9,0 \text{ MGD} + 4,7 \text{ CBD} + 4,1 \text{ ENAD} - 61 (\pm 0,4 \%), \text{ pour un coefficient de rétention azotée de } 47 \%.$$

Chez des porcs lourds mâles castrés à l'engraissement (d'un poids vif compris entre 190 et 75 kg), SCHIEMANN et al. (1972) ont établi l'équation suivante :

$$EM = 4,98 \text{ MAD} + 8,75 \text{ MGD} + 3,41 \text{ CBD} + 4,06 \text{ ENAD} \pm 91 (\pm 1,3 \%),$$

mais cette fois pour un coefficient de rétention azotée de 21 % seulement. La correction de l'EM pour un coefficient de rétention de 50 % porterait la valeur du coefficient des matières azotées digestibles à 5,2, ce qui est proche de celle obtenue par JUST NIELSEN pour des animaux en croissance.

Etant donné que la diminution de la valeur EM par rapport à la valeur ED ne porte que sur les matières azotées, on conçoit que le rapport EM/ED pour un aliment donné puisse varier en fonction de sa richesse en protéines, toujours dans le cas d'une utilisation optimale des matières azotées de la ration dans laquelle est inclus cet aliment. A titre indicatif, nous rapportons ci-après une relation établie à partir des données de MORGAN et al., (1975), dans le cas d'une correction de l'EM pour un coefficient de rétention de 30 % (EM₃₀) :

$$EM_{30} \text{ \% ED} = 98,39 - 0,172 \text{ MAT} (\%) ; r = -0,939.$$

Pas plus que l'énergie digestible, le rapport EM/ED ne semble pas affecté par les facteurs autres que ceux liés à l'alimentation, en particulier le sexe et le type génétique (tableau 3).

2. Utilisation de l'énergie métabolisable

2.1. Modélisation de l'utilisation de l'EM pour l'entretien et les productions.

Compte tenu des destinations particulières de l'énergie métabolisable pour l'entretien et les productions jusqu'au stade ultime de l'énergie nette (production minimale de chaleur pour l'entretien, énergie fixée ou exportée pour les productions), il est d'usage de dissocier l'EM en ses deux composantes principales :

EM = EM pour l'entretien + EM pour les productions,
ou encore, en séparant dans l'EM l'extra-chaleur de l'énergie nette :

$$EM = EN \text{ entretien} + EN \text{ production} + \text{extrachaleur (entretien + production)}$$

La composante EN entretien est directement proportionnelle au poids métabolique (généralement le poids vif élevé à la puissance 3/4), tout au moins dans un intervalle de poids donné. La composante EN des productions peut, elle-même, être séparée en quantités d'énergie fixée (ou exportée) sous forme de protéines et de lipides (voire de lactose, dans le cas de la production de lait par la truie).

Cette partition de l'EM peut ainsi donner lieu à toute une série de modèles :

- selon le type d'observation : il peut s'agir soit de l'énergie des productions mesurée à partir des bilans d'analyse chimique corporelle (par la méthode des abattages) ou à partir des bilans C - N (1) (par la technique des échanges respiratoires), soit de la production de chaleur estimée dans le cas de la méthode des QR (2) (échanges respiratoires) ou mesurée par la calorimétrie directe.
- selon l'ordre des variables choisies comme dépendante ou indépendante : EM, énergie des productions (ou production de chaleur), ou réciproquement.

L'analyse statistique des données (3) par la méthode de régression permet, à partir des paramètres de la relation linéaire (ordonnée à l'origine, pente), d'estimer le besoin d'entretien et les coûts (ou les rendements) de l'utilisation de l'EM pour les productions, d'une manière globale (énergie fixée) ou pour les productions spécialisées (dépôts de protéines et de lipides notamment).

(1) C - N : Carbone-Azote.

(2) QR : Quotidien respiratoire (CO₂/O₂)

(3) Généralement rapportées au poids métabolique.

2.2. Dépenses d'entretien et utilisation de l'EM pour l'entretien.

2.2.1. Méthodes d'estimation

Le besoin énergétique d'entretien, qui représente environ 1/3 de l'apport énergétique chez le porc en croissance et 2/3 chez les reproducteurs est normalement défini par la quantité d'énergie nécessaire pour un bilan énergétique nul (1), dans les conditions de thermoneutralité et en y incluant les dépenses d'activité physique.

L'énergie nette pour l'entretien (EN_m) peut faire l'objet d'une mesure directe de la production minimale de chaleur (FHP : "Fasting Heat Production"), en soumettant les animaux à un jeûne plus ou moins prolongé (3 - 4 jours). Il s'agit cependant, dans ce cas, d'une valeur apparente de l' EN_m , puisqu'y est incluse une part d'extrachaleur provenant du catabolisme des dépôts corporels.

Il faut noter par ailleurs que cette façon d'opérer est fort contestable, car le besoin d'entretien ainsi estimé ne correspond pas forcément à celui d'un animal de même poids alimenté et à croissance normale, compte tenu d'une liaison directe entre le besoin d'entretien et l'intensité de la croissance (MILLWARD et al., 1976).

Tout aussi critiquable, sur ce point, est la méthode qui consiste à mesurer le bilan énergétique en fonction du niveau d'EM en-dessous et aux alentours de l'entretien. L'énergie nette pour l'entretien, obtenue par extrapolation à une consommation nulle, correspond alors à l'équivalent d'énergie provenant de la mobilisation des tissus corporels pendant une période de jeûne total, y compris l'extrachaleur issue de leur catabolisme (fig.2a). La quantité d'EM nécessaire pour l'entretien (EM_m) est obtenue par extrapolation du bilan énergétique nul. Le rendement apparent de l'utilisation de l'EM pour l'entretien est donné par le rapport : $km = EN_m/EM_m$.

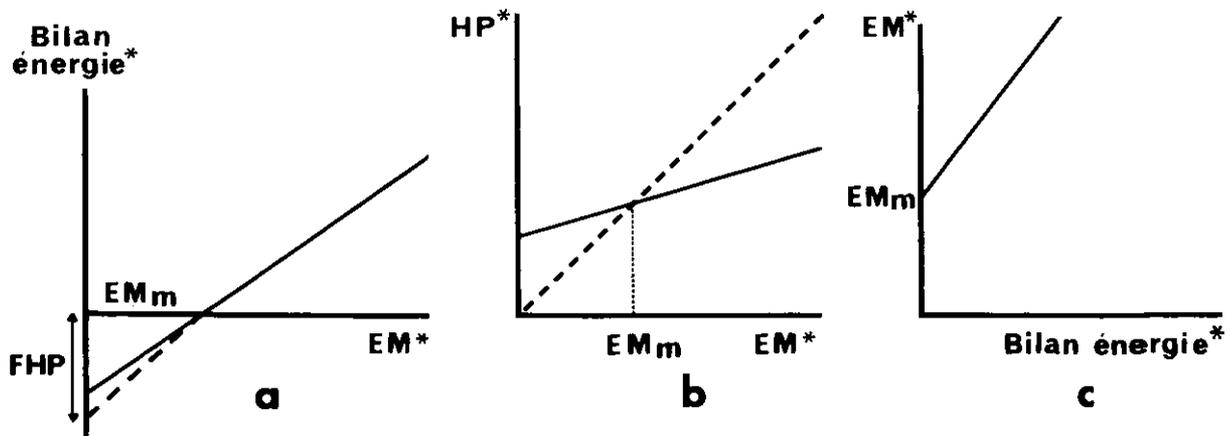
Pour tenir compte du taux de renouvellement accru des protéines corporelles aux vitesses de croissance élevées et pour se rapprocher ainsi des conditions pratiques de l'élevage, il est apparu préférable d'estimer le besoin énergétique pour l'entretien à partir de données (production de chaleur, bilans énergétiques) recueillies en faisant varier l'apport d'EM au voisinage du niveau d'alimentation à volonté.

En calculant la régression de la production de chaleur sur l'apport d'EM, on peut aboutir à une estimation de l'EM nécessaire pour l'entretien représentée par la valeur de l'EM égalisant la production de chaleur (abscisse du point de rencontre de la droite de régression et de la bissectrice ; fig. 2b).

Par ailleurs, le calcul de la régression de l'énergie fixée sur l'EM permet, par extrapolation à une consommation EM nulle, une estimation du besoin net pour l'entretien exprimée cette fois en énergie nette pour la croissance, tandis que l'EM nécessaire pour l'entretien est la valeur correspondant à l'énergie fixée nulle (fig.2a). Réciproquement, la régression de l'EM sur l'énergie fixée permet de préciser la valeur EM pour l'entretien (ordonnée à l'origine) de même que son écart-type (fig. 2c).

FIGURE 2

METHODE DE DETERMINATION DU BESOIN ENERGETIQUE D'ENTRETIEN



* : valeurs rapportées au poids métabolique ($P, \text{kg}^{3/4}$).

(1) Ceci n'empêche cependant pas qu'il puisse y avoir de remaniement dans la composition tissulaire.

2.2.2. Rendement de l'utilisation de l'EM pour l'entretien

La seule façon, quoiqu'imparfaite, de calculer le rendement apparent de l'utilisation de l'EM pour l'entretien, implique une connaissance de la production minimale de chaleur à jeûn (FHP), ainsi que de la quantité d'EM nécessaire pour un bilan énergétique nul.

Utilisant des animaux d'un poids compris entre 16 et 169 kg, BREIREM (1939) a ainsi estimé le rendement de l'utilisation de l'EM pour l'entretien à 81 %. SHARMA et al. (1971, 1972) proposent une valeur de 76 % pour des porcelets pesant entre 12 et 30 kg ; d'après JORDAN et BROWN (1970), le rendement se situe aux alentours de 78 % chez des porcelets d'un âge compris entre 5 et 39 jours.

En dépit du nombre limité de données disponibles, le rendement de l'utilisation de l'EM pour l'entretien devrait ainsi se situer entre 75 et 80 %, mais il est vraisemblablement soumis à des variations en fonction de la composition de la ration. Le besoin énergétique d'entretien correspond en effet à une dépense d'ATP dont le coût de production, à partir de l'EM, varie en fonction de la nature du substrat. Ainsi, suivant que l'EM est fournie par les glucides, les lipides ou les protéines, les coûts respectifs de formation d'une mole d'ATP sont 17,7 - 18,6 et 22 kcal, de sorte qu'en valeur relative, les rendements de l'EM pour la formation de l'ATP sont respectivement : 100, 95 et 80. On voit ainsi que les glucides constituent le substrat de choix, car le moins coûteux, pour couvrir les dépenses d'entretien, comparativement aux lipides et surtout aux protéines. Ceci est parfaitement illustré dans le tableau 4 (SCHIEMANN et al., 1972).

TABLEAU 4
VALEURS D'UTILISATION DE L'ENERGIE
POUR L'ENTRETIEN ET L'ENGRASSEMENT

(SCHIEMANN et al., 1972).

VALEUR	ENTRETIEN		ENGRASSEMENT	
	THEORIQUE	ESTIMEE EXPERIMENTALEMENT (1)	THEORIQUE	ESTIMEE EXPERIMENTALEMENT (2)
Glucides (amidon, glucose)	100	100	100	100
Lipides	95	92	> 110	110 à 130
Protéines	78	79	81	79 à 86

(1) Essais sur rat

(2) Essais sur rat, porc, lapin, ovins et bovins.

2.2.3. Variations du besoin d'entretien

● Evolution en fonction de l'âge (ou du poids vif)

Comme la plupart des modèles d'interprétation des résultats de bilans énergétiques sont basés sur l'étude de la régression de l'énergie fixée sur l'EM, le besoin énergétique d'entretien est généralement exprimé en kcal d'EM/kg^{3/4}. L'examen des nombreuses données de la bibliographie (tableau 5) montre une certaine hétérogénéité dans les valeurs obtenues par les différents auteurs à partir d'animaux au repos, dans les conditions de thermoneutralité, le plus souvent élevés individuellement en cages à métabolisme ou parfois en lots, dans des conditions plus proches de la pratique, dans le cas des bilans par l'analyse chimique corporelle.

TABLEAU 5

UTILISATION DE L'ENERGIE POUR L'ENTRETIEN ET LA CROISSANCE

REFERENCES	Intervalle de poids, kg (ou âge)	Modalités expérimentales	Besoin d'entretien EM, kcal/kg ^{3/4}	Rdt utilisation EM pour la croissance, %	DEPOT DE PROTEINES			DEPOT DE LIPIDES		
					kcal EM nécessaires pour formation		Rdt EM pour dépôt prot.	kcal EM nécessaires pour formation		Rdt EM pour dépôt lipides
					1 kcal prot.	1 g prot.		1 kcal lipides	1 g lipides	
Porc en croissance-finition										
BREIREM (1939)	16 - 169	Métab.jeûne	104 (1)							
JESPERSEN et OLSEN (1939)	60 - 90	Exp. alim. à poids const.	121							
KIELANOWSKI et KOTARBINSKA (1970)	30 - 90	Méth.abattage	102		2,80	16,0	36	1,36	13,0	74
JUST NIELSEN (1970)	20 - 90	Méth.abattage	111							
OSLAGE et al. (1970)	25 - 105	Ech. respir.		69	1,91	10,9	52	1,43	13,6	70
BOWLAND et al. (1970)	25 - 74	Ech. respir.		72						
FULLER et al. (1972)	20 - 90	Ech. respir.		71						
SCHIEMANN et al. (1972)	95 - 184	Ech. respir.	95 (2)	66						
CLOSE et al. (1971)	(3-4 mois)	Calorimétrie directe								
VERSTEGEN (1971)	20 - 50 50 - 90	Ech. respir. Ech. respir.	122 116							
VAN ES (1972)	10 - 40 40 - 90 > 100	) Biblio-) graphie	90 - 225 90 - 126 70 - 95							
VERSTEGEN et al. (1973)	20 - 90	) Ech. respir.		67						
WENK (1973)	20 - 90	)		67						
GÄDEKEN et al. (1974)	30 - 110	Ech. respir.	90 - 100		1,85	10,5	54	1,42	13,5	70
THORBEBK (1974)	25 - 30 55 - 80	) Métab.jeûne) Ech.respir.	144 95							
CLOSE et al. (1974)	23 - 42	Calorim. directe	100 - 122	66	1,6	9,13	58	1,18	11,18	70
HILLCOAT et ANNISON (1974)	50	Ech. respir.		64 - 71						
THORBEBK (1975)	20 - 90	Ech. respir.		67	2,09	11,9	48	1,30	12,4	77
BURLACU et al. (1976)	8 - 50	Ech. respir.	150	80 - 85	1,5	8,6	67	1,0	9,5	100
CLOSE et MOUNT (1976)	25 - 50	Calor. directe		68	1,58	9,0	63	1,44	13,5	70
FULLER et al. (1976) (1)	30 60	) Ech.respir.	158 134	85 82						
HOFFMANN et al.(1977b)	50 - 130	Ech. respir.	100 ± 15							
Porcelet										
JORDAN et BROWN (1970)	(5-19 j.)	Ech. respir.	88 - 127	76 - 88						
SHARMA et al. (1972)	12 - 30	Méth.abattage	126							
De GOEY (1973)	5 - 10	Méth.abattage	127 (3)	69						
BURLACU et al. (1973)	9 - 20	Ech. respir.	144	78						
JORDAN (1974)	(5-39 j.)	Ech. respir.	120 - 144	74 - 88						
KIRSCHGESSNER et MÜLLER (1974)	) ) 4 - 12	Méth. abattage		59	2,02	11,5	50			
MÜLLER et al. (1974))									
BÖHME et al. (1976)	3,6 - 19,7	Ech. respir.		72						
JORDAN et WEATHERUP (1976)	3	Ech. respir.	80 - 89 (2)							
HOFFMANN et al.(1977a)	8 - 38	Ech. respir.	125	74 70	1,80(3) 1,67(4)	10,3 9,5	56 60	1,18 1,22	11,2 11,6	85 82

(1) Porcs croisés : large White x (Landrace x Large White) et Piétrain

(2) 80 : régime à base de lactose ; 89 : régime à base de matières grasses

(3) Caséine + méthionine

(4) Gluten de blé + lysine.

L'évolution du besoin d'entretien rapporté au poids métabolique fait apparaître une diminution progressive à mesure qu'augmentent l'âge ou le poids vif (tableau 6). Ceci est tout à fait conforme aux observations de THORBEEK et HENCKEL (1976) qui n'obtiennent pas une relation de proportionalité directe entre la production de chaleur à jeûn et le poids métabolique dans l'intervalle de poids 15 - 80 kg.

TABLEAU 6
NORMES MOYENNES POUR LE BESOIN ENERGETIQUE D'ENTRETIEN
EN FONCTION DU POIDS VIF, en kcal EM/kg^{3/4}

INTERVALLE DE POIDS kg	EN-DESSOUS de 20 kg	20 - 50	50 - 100	AU-DESSUS de 100 kg
Valeurs moyennes du besoin d'entretien	120-130	110-120	100-110	90-100

En ce qui concerne le besoin d'énergie nette pour l'entretien BREIREM (1939) l'a estimé directement à 169 kcal/kg^{2/3} chez des animaux d'un poids vif compris entre 16 et 169 kg, après avoir majoré le métabolisme de base (154,7 kcal/kg^{2/3}) de 20 %, pour tenir compte des dépenses d'activité physique dans les conditions normales d'élevage. Bien entendu, l'adoption d'une valeur constante dans un aussi grand intervalle de poids conduit à une sous-estimation du besoin d'entretien au cours de la première phase de la croissance, comme il a été indiqué précédemment. Exprimé en énergie nette pour l'engraissement, le besoin d'entretien estimé par SCHIEMANN et al. (1972) pour des porcs d'un poids compris entre 100 et 180 kg s'élève à 66,7 kcal/kg^{3/4}, correspondant à 95 kcal EM/kg^{3/4}, compte tenu d'un rendement de l'utilisation de l'EM pour l'engraissement de 70 %.

● Activité physique

Les dépenses d'activité physique constituent une part non négligeable du besoin d'entretien. Selon HÖRNICKE (1970), la station debout, qui n'occupe cependant que 18 % du temps total, chez des porcs en croissance (entre 16 et 38 kg de poids vif), entraîne une dépense supplémentaire d'énergie de 54 % par rapport à la position couchée. Quoiqu'il en soit, d'après le même auteur, les dépenses d'énergie consécutives à la station debout représenteraient tout au plus 8 % de la dépense totale d'énergie pendant 24 heures.

Sur le plan pratique, toute solution favorisant la tranquillité des animaux dans la porcherie devrait se traduire par une réduction du coût d'énergie alimentaire.

● Thermorégulation

Lorsque la température ambiante se situe en-dessous de la zone de confort thermique (température critique inférieure), le porc doit faire face à des dépenses d'énergie supplémentaire pour sa thermorégulation. Chez des porcs élevés individuellement, CLOSE et MOUNT (1976) ont ainsi observé qu'un abaissement de la température ambiante de 1°C entraîne une dépense supplémentaire de chaleur de 4,3 kcal/kg^{3/4} pour la thermorégulation ("Extra Thermoregulatory Heat" : ETH). En réalité, la valeur d'ETH est en relation avec le degré d'isolation thermique et dépend principalement de la taille du groupe et du niveau alimentaire (tableau 7). L'élévation de ce dernier est accompagnée d'un abaissement de la température critique inférieure, dû à une production accrue d'extrachaleur. Ceci a pour conséquence une économie possible de sources de chauffage pour assurer la thermorégulation des animaux, d'autant plus que l'effectif du groupe est plus important et que les dispositions nécessaires ont été prises pour minimiser les pertes de chaleur.

TABLEAU 7

DEPENSES D'EXTRACHALEUR POUR LA THERMOREGULATION (ETH)

REFERENCES	TAILLE DU GROUPE	INTERVALLE DE POIDS, kg	ETH, kcal/kg ^{3/4} ET PAR °C
CLOSE et MOUNT (1976)	Individus	25 - 50	4,3
VERSTEGEN (1971)	Groupe de 6	20 - 50	2,7
VERSTEGEN et al. (1974)	Groupe de 9	25 - 30	2,1

● Variations génétiques

Les travaux de SHARMA et al. (1971) sur porcelets ont fait ressortir une différence raciale dans le besoin d'entretien (tableau 8). La valeur plus élevée observée en race Yorkshire, comparativement aux animaux Lacombe, plus gras, pourrait résulter d'une activité physique supérieure, bien que l'importance accrue du compartiment musculaire laisse préjuger d'un renouvellement des protéines corporelles plus intense. Par contre, le rendement de l'EM pour l'entretien, ne semble pas affecté par le type génétique. Dans le même tableau, on observe également une différence de besoin d'entretien entre des porcs de race pure Yorkshire et des croisés Hampshire x Yorkshire, mais seulement chez les mâles, les femelles se comportant de la même façon dans les deux types génétiques. De leur côté, KEMM et al. (1967), pour expliquer la meilleure utilisation métabolique de l'énergie chez des porcs de race locale d'Afrique du Sud, par rapport à des animaux Landrace, concluent à une activité physique moindre. En revanche, FULLER et al. (1976) n'ont trouvé aucune différence dans le besoin énergétique d'entretien entre des porcs croisés Landrace x (Large White x Landrace) et des animaux Piétrain aux poids de 30 et 60 kg.

TABLEAU 8

VARIATIONS DE L'UTILISATION DE L'ENERGIE METABOLISABLE POUR L'ENTRETIEN ET LA CROISSANCE EN FONCTION DU TYPE GENETIQUE (1)

(SHARMA et al., 1971, 1972)

REFERENCE	SHARMA et al. (1971) (2)		SHARMA et al. (1972) (3)			
	YORKSHIRE	LACOMBE	YORKSHIRE	HAMPSHIRE x YORKSHIRE		
Métabolisme de jeûne, kcal/kg ^{3/4}	105	*	84	100	*	90
Besoin d'entretien, kcal EM/kg ^{3/4}	136	*	109	133	*	118
Utilisation EM % pour :						
- l'entretien	76,6	NS	75,4	78,6	NS	76,7
- la croissance	68,1	NS	64,4	67,4	NS	64,1

(1) Porcelets d'un poids vif compris entre 12 et 30 kg.

(2) Mâles

(3) Mâles et femelles

* Effet significatif au seuil 0,05.

NS : non significatif.

En définitive, la variation éventuelle de besoin énergétique d'entretien en fonction du type génétique ne semble pas résider dans le rendement de l'utilisation de l'EM pour l'entretien, si tant est qu'il puisse être connu avec précision, mais bien plutôt dans l'intensité du métabolisme de repos, compte tenu notamment de l'influence de l'état hormonal et de l'activité physique des animaux. De plus, l'intégration dans l'entretien des dépenses énergétiques liées au renouvellement des protéines corporelles devrait entraîner un coût variable selon l'intensité du développement musculaire et donc selon le type génétique.

2.2.4. Recommandations pratiques

Sur le plan pratique, pour tenir compte des dépenses supplémentaires d'activité physique dans les conditions normales d'élevage, il est nécessaire de corriger les valeurs du besoin d'entretien obtenues au cours d'essais expérimentaux. C'est ainsi que SCHIEMANN et al. (1972) proposent de majorer les valeurs expérimentales de 10 ou 15 % selon que les porcs sont élevés individuellement ou en groupe. A partir des résultats moyens rapportés dans le tableau 8 et qui nous paraissent les plus vraisemblables, il est possible de formuler des recommandations pratiques pour l'entretien, en kcal EM/kg ^{3/4}, sur la base d'une majoration de 10 % pour se rapprocher des conditions habituelles de l'élevage. Ces valeurs ont servi à l'élaboration de recommandations journalières (kcal EM) en fonction du poids vif (tableau 9). Bien entendu, celles-ci devront être sensiblement accrues dans les conditions marginales de température ambiante.

TABLEAU 9

RECOMMANDATIONS POUR L'APPORT D'ENERGIE METABOLISABLE POUR L'ENTRETIEN DU PORC

Poids vif, kg Poids métabolique, kg ^{3/4}	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Besoin d'entretien, Mcal EM/j	0,70	1,10	1,50	1,80	2,10	2,30	2,50	2,70	3,00	3,20	3,60
Normes pratiques (majoration de 10 %), Mcal EM/j.	0,75	1,20	1,65	2,00	2,30	2,50	2,75	3,00	3,30	3,50	3,95

3. Utilisation de l'énergie métabolisable pour les productions

Pour ce qui est de l'utilisation de l'EM pour les productions, il sera traité ici principalement de la croissance, les aspects particuliers relatifs à l'utilisation de l'EM pendant le cycle de reproduction (gestation, lactation) étant considérés dans la troisième partie.

Les paramètres concernant l'utilisation de l'EM pour la croissance, et d'une manière plus précise pour la formation des dépôts de protéines et de lipides (coûts d'EM par kcal d'énergie fixée ou par g de dépôt, rendement de l'utilisation de l'EM) sont généralement estimés par régression linéaire de l'EM soit sur l'énergie fixée totale (ER), soit sur les quantités d'énergie fixée sous forme de protéines (ER_p) et de lipides (ER_l), compte tenu d'une relation linéaire directe entre l'énergie fixée et l'énergie métabolisable ingérée (NEHRING et al., 1960).

$$EM_{(kcal)} = a P^{3/4} + b ER$$

$$EM_{(kcal)} = a P^{3/4} + c ER_p + d ER_l$$

P étant le poids vif en kg.

Les relations précédentes peuvent être simplifiées en divisant chacun des termes par le poids métabolique :

$$EM_{(kcal)} / P^{3/4} (kg) = a + c ER_p / P^{3/4} (kg) + d ER_l / P^{3/4} (kg)$$

Le coefficient a représente une estimation du besoin d'entretien, en kcal EM/kg ^{3/4}, b, c et d les coûts d'EM, en kcal/kcal d'énergie fixée respectivement pour la croissance et les dépôts de protéines et de lipides.

Il est bon de remarquer que l'utilisation de l'EM pour la formation des dépôts est la résultante des processus de synthèse et de dégradation, compte tenu de l'intensité du renouvellement des compartiments corporels, principalement dans le cas des protéines.

3.1. Valeurs moyennes

Etant donné le mode de traitement statistique par régression des résultats de bilans énergétiques, il existe une corrélation automatique entre l'estimation du besoin d'entretien (déduit de l'ordonnée à l'origine) et

celle du coût d'EM pour la croissance (déduit de la pente de la droite de régression). Ainsi, on s'aperçoit, dans le tableau 5, qu'une surestimation du besoin d'entretien est associé à une surestimation du rendement de l'utilisation de l'EM pour la croissance et réciproquement.

Quoi qu'il en soit, d'après les données de la bibliographie, on remarque que c'est pour le coût énergétique du dépôt des lipides qu'il y a le plus d'homogénéité dans les résultats rapportés par les auteurs. Le rendement de l'utilisation de l'EM se situe aux alentours de 70 - 80 % (en moyenne 75 %), correspondant à un coût d'EM de l'ordre de 1,3 - 1,4 kcal/kcal d'énergie fixée sous forme de lipides, soit 12 - 13 kcal d'EM/g de lipides.

En ce qui concerne le dépôt de protéines, au contraire, les valeurs du rendement de l'utilisation de l'EM non seulement sont plus faibles que pour le dépôt de lipides (en moyenne 50 - 55 %), comme dans les autres espèces animales, mais elles sont de plus beaucoup plus variables : de 40 à 65 % ou plus. Le coût correspondant d'EM avoisine 2 kcal/kcal d'énergie fixée sous forme de protéines, soit 11 à 12 kcal d'EM/g de protéines (sensiblement le même coût pondéral que pour les lipides). Le rendement ainsi observé expérimentalement s'écarte très sensiblement du rendement théorique moyen de 77 % calculé par ARMSTRONG (1969). L'écart entre le rendement effectivement observé pour la fixation des protéines et le rendement théorique de leur synthèse s'explique en partie par la prise en compte, dans le coût du dépôt azoté, de l'augmentation des dépenses liées au renouvellement accru des protéines corporelles lorsqu'augmente l'intensité de croissance, puisque le coût de l'entretien est supposé constant.

Compte tenu de l'utilisation différentielle de l'EM pour les dépôts de protéines et de lipides, on comprend que le rendement de l'utilisation globale de l'EM pour la croissance soit en relation directe avec le pourcentage d'énergie fixée sous forme de lipides (OSLAGE et al., 1970 ; THORBEEK, 1975). Selon THORBEEK, il augmente ainsi de 50 à 70 % lorsque le gain d'énergie sous forme de lipides s'élève de 0 à 84 % du gain total. Le rendement de l'utilisation globale de l'EM pour la croissance, dans les conditions normales, se situe aux alentours de 65 - 70 %.

3.2. Variations de l'utilisation de l'EM pour la croissance et les dépôts corporels.

3.2.1. Variations nutritionnelles

● Utilisation différentielle des composantes de l'EM pour le dépôt de lipides

En raison de l'incorporation quasi directe des acides gras longs dans les dépôts lipidiques corporels, on conçoit que l'utilisation de l'EM pour le dépôt de lipides puisse varier en fonction de la nature du substrat (VAN ES, 1974). Les rendements sont ainsi les suivants, en % :

— acides gras longs	98
— acides gras courts et moyens	90
— glucides	75 - 80
— protéines	50

Ces valeurs proposées par VAN ES proviennent en particulier des observations des chercheurs de l'Institut OSKAR KELLNER de ROSTOCK qui ont exprimé la valeur en énergie nette pour l'engraissement ("Netto Energie für Fett" ou NEF) en fonction des teneurs en éléments digestibles, dans le cas d'un dépôt quasi exclusif de lipides chez des porcs lourds mâles castrés entre 190 et 75 kg (SCHIEMANN et al., 1972) :

$$\text{NEF (kcal)} = 2,61 \text{ MAD} + 8,63 \text{ MGD} + 2,15 \text{ CBD} + 2,98 \text{ ENAD}.$$

Le coefficient des ENAD s'applique à des aliments principalement à base d'amidon. Une correction doit être apportée pour les aliments riches en disaccharides et en monosaccharides : respectivement — 0,15 et — 0,30 kcal/g (compte tenu de leur plus faible teneur en énergie brute).

Le rapport de ces coefficients à ceux correspondants de l'équation de prédiction de l'EM conduit à une estimation du rendement de l'utilisation de l'EM des principes digestibles pour l'engraissement (en %) :

— matières azotées digestibles	52
— matières grasses digestibles	98
— cellulose brute digestible	63
— extractif non azoté digestible	73

On remarque que l'utilisation de l'EM des produits terminaux de la digestion de la cellulose brute pour l'engraissement est légèrement inférieure à celle de l'extractif non azoté. Néanmoins, pour simplifier la formule, les auteurs précédents ont proposé d'attribuer un coefficient unique à l'ensemble de la fraction glucidique (ce qui entraîne une légère modification des autres coefficients), suivant l'équation :

$$\text{NEF (kcal)} = 2,56 \text{ MAD} + 8,54 \text{ MGD} + 2,96 (\text{CBD} + \text{ENAD}).$$

Les différences dans le rendement de l'utilisation de l'EM en fonction de la nature du substrat confirment les résultats trouvés précédemment à l'aide de substances nutritives pures (SCHIEMANN et al., 1972 : tableau 10).

TABLEAU 10

UTILISATION ENERGETIQUE DES SUBSTANCES NUTRITIVES PURES POUR L'ENGRAISSEMENT

(SCHIEMANN et al., 1972)

	EB kcal/kg M.S.	ED kcal/kg	CUDE	EM, kcal/kg subst. dig.	EN, kcal/kg subst. dig.	Rdt utilisation EM %
Amidon	4140	3996	96,5	4074	3083	75,7
Protéines de gluten de blé	6020	5951	98,8	5100	3022	59,1)
Protéines de poisson (morue)	5610	5335	95,1	4595	3007	65,5) 62,3
Huile d'arachide	9500	9098	95,8	9389	8063	85,9
Saccharose	3960	3825	96,6	3889	2901	74,6
Cellulose	4180	2327	55,7	4538	2956	70,6
Acide acétique	3487	3480	99,8	3508	2100	59,9
Acide lactique	3619	3407	94,1	3654	2731	74,8

● Utilisation différentielle des composantes de l'EM pour le dépôt de protéines

L'incidence de la nature des nutriments sur l'utilisation de l'EM pour le dépôt de protéines chez le porc est encore relativement peu connue. Néanmoins, on peut penser que le coût de synthèse des protéines varie avec la nature du substrat utilisé pour la formation des ATP et que le dépôt de protéines est d'autant plus coûteux en énergie que le taux de renouvellement des protéines est plus élevé. Ceci explique que chez le porc, comme chez les autres espèces animales, les acides gras à chaîne courte et moyenne sont utilisés de façon privilégiée pour la formation des tissus maigres et ceci aux dépens des dépôts gras (MILLER et al., 1971). Comme l'ont souligné PERET et al. (1975), dans le cas du rat, l'obtention d'une rétention azotée maximale chez l'animal en croissance dépend non seulement du niveau des apports quantitatifs et qualitatifs d'acides aminés, mais aussi de la quantité d'énergie disponible sous forme d'ATP, notamment à partir du glucose, ce qui implique un équilibre optimal entre la fraction azotée et les substances glucidiques de la ration.

● Variations de l'utilisation globale de l'EM pour la croissance en fonction de la nature des nutriments

L'influence spécifique de la nature du substrat énergétique sur la formation des dépôts de protéines ou de lipides se retrouve a fortiori au niveau de l'utilisation globale de l'EM pour la croissance.

C'est ainsi que THORBEEK (1975), comparant diverses céréales dans l'alimentation du porc en croissance, trouve avec le maïs un rendement de l'utilisation de l'EM pour la croissance plus élevé qu'avec l'orge et le sorgho (70 contre 66 %), en raison précisément d'une meilleure utilisation de l'EM du maïs (d'ailleurs plus riche en matières grasses) pour le dépôt de lipides (83 contre 75 %), tandis que le rendement de l'utilisation de l'EM pour la formation des protéines n'est pas modifié.

Dans le cas du porcelet en allaitement artificiel et recevant un régime à base de protéines de lait et de matières grasses, certains auteurs (JORDAN et BROWN, 1970 ; JORDAN, 1974 ; JORDAN et WHEATHERUP, 1976) enregistrent un rendement particulièrement élevé de l'utilisation de l'EM pour la fixation globale de l'énergie, et ceci d'autant plus que le taux de matières grasses dans la ration est plus important (tableau 5). Bien que l'on puisse s'attendre à une utilisation relativement faible de l'EM pendant le jeune âge, en raison de la part prédominante de l'énergie fixée sous forme de protéines, ceci est à mettre au compte d'une incorpo-

ration directe des acides gras absorbés dans les dépôts, ainsi que d'une utilisation optimale des protéines pour la croissance.

Dans un travail récent (HOFFMANN et al., 1977) ont mis également en évidence, chez le jeune porc entre 8 et 40 kg de poids vif, un rendement de l'utilisation de l'EM pour la croissance relativement élevé, puisqu'il atteint plus de 80 % pour la fixation de lipides et de l'ordre de 60 % pour le dépôt de protéines (tableau 5).

Utilisant la cellulose brute comme un index de la composition de l'EM et de sa concentration dans l'aliment, JUST NIELSEN (1970) a mis en évidence un effet dépressif de la teneur en ce constituant sur l'utilisation nette de l'énergie pour la croissance, tandis que les matières grasses, au contraire, exercent une influence favorable :

$$\begin{aligned} \text{Energie nette croissance (kcal)} &= 0,53 \text{ EM} + 2,2 \text{ MG (g)} - 1,6 \text{ CB (g)} - 899 ; \\ s &= 78 \text{ kcal } (\pm 4,4 \%) \end{aligned}$$

Comme le montre l'équation de prédiction de l'énergie nette pour l'engraissement (NEF), selon SCHIEMANN et al. (1972), cette influence défavorable de la cellulose brute alimentaire sur l'utilisation globale de l'EM pour la croissance peut être expliquée non seulement par une utilisation moindre de l'EM des acides gras volatils provenant des substances cellulosiques, comparativement à celle fournie par les glucides (ENA), mais également par une sous-estimation de l'EM (fermentations microbiennes s'accompagnant de production de gaz et de production de chaleur).

3.2.2. Variations génétiques

En raison de différences de rendement dans l'utilisation de l'EM pour les dépôts de protéines et de lipides et compte tenu des variations plus ou moins fortes dans les proportions respectives d'énergie fixée sous forme de protéines et de lipides en fonction du génotype, on pourrait s'attendre à une influence de ce dernier sur l'utilisation globale de l'EM pour la croissance. D'après les quelques résultats disponibles, cela ne semble pourtant pas être le cas (SHARMA et al., 1971, 1972 : tableau 8 ; FULLER et al., 1976 : tableau 5), probablement du fait de la difficulté de mettre en évidence des écarts de rendement relativement faibles.

Si l'on considère séparément l'utilisation de l'EM pour le dépôt de protéines et celui de lipides, il n'existe pas non plus de différence connue en fonction du type génétique. En réalité, comme les dépôts corporels de protéines et de lipides sont la résultante des processus de synthèse et de mobilisation, il conviendrait de connaître les conséquences des variations du taux de renouvellement (protéines essentiellement) selon le génotype sur l'utilisation globale de l'EM.

En définitive, le rendement de l'utilisation de l'EM pour l'entretien et les productions est déterminé à la fois par la destination particulière de l'EM et par la nature des nutriments, ce qui oblige à différencier la valeur de l'énergie nette, tant sur le plan de la nature des apports alimentaires que sur celui des processus métaboliques. Sur ce point, c'est précisément l'énergie nette pour l'engraissement qui est la mieux maîtrisée.

C - Incidence des variations de l'utilisation de l'énergie sur le choix d'un système d'appréciation de la valeur énergétique des aliments pour le porc.

Après avoir considéré les étapes successives de la transformation de l'énergie alimentaire jusqu'au stade final de l'utilisation pour l'entretien et les productions selon la composition des aliments ou des rations, il reste à examiner les possibilités pratiques d'appréciation de la valeur énergétique des aliments pour le porc.

Compte tenu de la diversité des modes d'expression (ED, EM, EN), des unités employées (Kcal ou KJ, équivalents fourragers) et des modes de calcul (estimation globale ou à partir de la composition chimique de l'aliment), il existe un nombre relativement élevé de possibilités pour estimer et exprimer la valeur énergétique des aliments.

Bien entendu, ce sont les systèmes basés sur le calcul de l'énergie nette qui permettent l'estimation la plus rigoureuse de la valeur énergétique des rations, ainsi que des performances attendues des animaux. Cependant, la valeur énergétique nette d'un aliment, ne constitue pas une caractéristique intrinsèque de ce dernier. Dans le cas particulier du porc, elle varie en fonction de la nature même de la production (croissance, engraissement,

gestation, lactation). Dans la mesure où les aliments n'ont pas la même valeur relative les uns par rapport aux autres, pour ces différentes productions, il n'apparaît théoriquement pas possible d'attribuer à un aliment donné une seule valeur énergétique. Il n'en demeure pas moins que sur le plan pratique il convient d'utiliser un système suffisamment simple tout en appréciant le mieux possible la valeur énergétique de l'aliment pour la production considérée. Remarquons cependant, que, par rapport aux ruminants (VERMOREL, 1977), chez le porc les problèmes d'évaluation de l'énergie sont relativement simplifiés puisque :

- la valeur en énergie nette du régime n'est pratiquement pas modifiée par le niveau d'alimentation,
- dans les conditions normales d'alimentation, on n'observe pas d'effets associatifs apparents entre les composants du régime, de sorte que leurs valeurs énergétiques peuvent être considérées comme étant additives. De toute manière, pour éviter les risques d'interaction entre les composants de la ration il est parfaitement établi que la valeur énergétique d'un aliment doit être appréciée à partir des données enregistrées sur la ration entière, plutôt que par la méthode de substitution ou par différence (supplémentation d'une ration de base).

La valeur énergétique nette (EN) d'un aliment pour le porc comme pour les ruminants (VERMOREL, 1977) peut être calculée à partir de la teneur en énergie brute (EB), du CUD de l'énergie (CUDE), du rapport entre l'énergie métabolisable (EM) et l'énergie digestible (ED) et du rendement de l'utilisation de l'EM pour la production considérée (k), suivant la relation :

$$EN = EB \times \frac{CUDE}{100} \times \frac{EM}{ED} \times k$$

Ceci crée un enchaînement logique entre les différents systèmes d'évaluation de l'énergie, du plus simple au plus élaboré :

$$ED = EB \times \frac{CUDE}{100} \quad EM = ED \times \frac{EM}{ED} \quad EN = EM \times k$$

1. Energie digestible

L'énergie digestible, quoique connue avec précision pour la plupart des aliments et relativement peu variable, ne constitue qu'une première approximation de la valeur énergétique véritable pour une production donnée. Le système basé sur l'énergie digestible des aliments ne tient pas compte des différences d'utilisation de l'énergie des différents principes digestibles. Ainsi, il surestime la valeur des protéines absorbées, qui sont ensuite partiellement désaminées. Par contre, par rapport aux glucides, il sous-estime la valeur d'utilisation des graisses pour la formation des dépôts lipidiques corporels ou pour la synthèse des lipides du lait. Cependant, lorsque les graisses sont utilisées pour l'entretien et d'une façon générale pour la production des ATP (notamment en vue de la synthèse des protéines), il en résulte une légère surestimation de leur valeur énergétique nette.

2. Energie métabolisable

Le système basé sur l'énergie métabolisable est également d'une grande simplicité, sur le plan tant de sa détermination que de son application. Toutefois, les valeurs EM n'ont de signification véritable que si elles se rapportent à des régimes parfaitement équilibrés en acides aminés, correspondant à une excrétion azotée urinaire minimale. Dans ces conditions, la valeur EM représente un pourcentage élevé de la valeur ED (95 à 97 % pour les céréales), mais légèrement variable selon le taux de protéines dans l'aliment. Par rapport à l'énergie nette, la valeur EM présente les mêmes insuffisances que le système ED, si ce n'est que la valeur énergétique attribuée aux protéines se rapproche davantage de leur valeur énergétique nette dans les dépôts corporels ou dans le lait.

3. Energie nette

3.1. Energie nette pour la croissance

L'estimation de l'énergie nette implique une connaissance précise du rendement de l'utilisation de l'EM (k) et de ses variations en fonction du type de production et de la nature des substrats énergétiques. Sur le plan des productions, c'est avant tout la croissance qui est concernée dans le cas du porc, puisque la quantité d'aliment

consommé entre la naissance et le poids d'abattage (100 - 110 kg) représente les 3/4 environ de la dépense totale d'aliment par porc produit, contre 1/4 seulement pour l'entretien des reproducteurs et du cheptel de remplacement.

Pour exprimer la valeur énergétique nette des aliments pour le porc, à l'aide d'un système le plus représentatif possible, il est donc logique de s'orienter vers l'énergie nette pour la croissance. En réalité, en raison des variations inévitables de composition du croît avec l'âge, comme à un âge (ou un poids) donné, il y a lieu de tenir compte à la fois des facteurs liés à l'animal et à la composition de la ration. Ainsi, dans les conditions normales de croissance du porc, le pourcentage d'énergie fixée sous forme de lipides dans l'organisme s'élève progressivement de 50 % environ vers 20 kg de poids à 80 % ou plus au stade d'abattage de 100 kg. Sur la base d'un rendement d'utilisation de l'EM de 75 % pour le dépôt de lipides et de 50 % pour la fixation des protéines, le rendement de l'utilisation de l'énergie pour la croissance augmente ainsi de 63 à 70 % respectivement entre 20 et 100 kg de poids vif. Si l'on y inclut la part de l'entretien (1/3 du besoin énergétique total environ), compte tenu d'un rendement d'utilisation de l'EM pour l'entretien de 80 %, le rendement de l'utilisation globale de l'EM pour la croissance et l'entretien s'élève de 69 à 73 %, soit un écart relatif d'un peu plus de 5 %. D'un point de vue pratique, pour l'estimation de la valeur énergétique d'un aliment pour la croissance, on peut donc se contenter de considérer, sans grande erreur, un intervalle de poids relativement important.

En ce qui concerne l'influence de la composition de l'EM sur son utilisation pour la croissance, JUST NIELSEN (1975 et communication personnelle), propose, pour l'estimation de la valeur EN (croissance + entretien), d'établir une correction en fonction de la concentration en énergie de l'aliment, ce qui permet notamment de tenir compte de l'effet dépressif de la cellulose brute sur l'utilisation de l'EM :

$$EN \text{ (Kcal/kg MS)} = 0,75 \text{ EM} - 450$$

La présence d'un terme constant signifie que pour une valeur EM donnée le rendement de l'utilisation de l'EM est d'autant plus faible que les aliments sont dilués en énergie, donc plus riches en substances celluloseuses. Néanmoins, sur ce point, de nouvelles données sont nécessaires pour préciser l'influence de la composition de la ration sur l'utilisation de l'EM pour la croissance.

3.2. Energie nette pour l'engraissement

A la suite des premiers travaux de KELLNER et son équipe, les chercheurs de l'Institut OSKAR KELLNER de ROSTOCK (NEHRING, SCHIEMANN et collaborateurs), dans le but de relier l'énergie fixée à un dépôt corporel homogène, ont mis au point un système d'appréciation de l'énergie nette des aliments pour l'engraissement, c'est-à-dire pour une production quasi exclusive de gras, chez des porcs mâles castrés presque adultes d'un poids vif compris entre 190 et 75 kg. Dans ce système dit NEF (1) la valeur en énergie nette est calculée à partir des teneurs en principes digestibles déterminés par la méthode de WEENDE (matières azotées, matières grasses, cellulose brute, extractif non azoté), avec une précision de $\pm 5 \%$, ce qui permet de prendre en considération l'utilisation différentielle des composants de la ration pour la production de graisse. Compte tenu du modèle utilisé (régression de l'énergie fixée sur les éléments digestibles et le poids métabolique), le besoin d'entretien est également exprimé en unité NEF, ce qui suppose une même utilisation relative des éléments digestibles (glucides, lipides, protéines) pour l'entretien (production d'ATP) et l'engraissement. En fait, s'il en est à peu près ainsi pour les glucides et les protéines, il en va tout autrement des lipides, dont le rendement de l'utilisation pour l'engraissement est supérieur de 15 % à celui de leur utilisation pour l'entretien (tableau 4).

Bien que la plus grande partie de l'énergie fixée chez le porc le soit sous forme de lipides (entre 2/3 et 3/4 en moyenne), le système NEF ne permet qu'une appréciation imparfaite de l'énergie nette pour la croissance. En particulier, la valeur des protéines est trop sévèrement sous-estimée, puisqu'elles sont catabolisées pour la formation du gras avec un rendement moitié de celui qui correspondrait à la fixation des acides aminés dans les tissus. En revanche, dans le cas d'une synthèse de protéines prédominante, le coefficient attribué aux glucides (ENAD) devrait être plus faible que pour l'engraissement. Cela signifie que pour la production de viande maigre, le système NEF pénalise les aliments riches en protéines au profit des aliments riches en glucides et en lipides.

Un autre inconvénient du système NEF est qu'il est lié à un mode d'analyse chimique de l'aliment dont on connaît les limites et les faiblesses. La cellulose brute de WEENDE ne constitue qu'un critère très impar-

(1) L'unité pratique employée (EFs) correspond à 3,5 kcal NEF.

fait pour l'appréciation de l'importance quantitative et qualitative des glucides membranaires. L'extractif non azoté englobe des fractions hétérogènes, comprenant non seulement des glucides solubles mais aussi des glucides de structure (hémicelluloses, cellulose, lignine) non dosés par la méthode de WEENDE. La validité des coefficients d'utilisation digestive de ces différentes fractions peut être également discutée, notamment pour les matières grasses, du fait de l'utilisation de la méthode d'extraction à l'éther de pétrole. L'équation de prédiction de la valeur NEF est donc susceptible d'amélioration, notamment par la prise en compte de la teneur en amidon, par une meilleure caractérisation des matières grasses (hydrolyse acide préalable) et des glucides membranaires, mais dans ce cas il est vraisemblable que les valeurs des coefficients de l'équation de prédiction soient plus ou moins fortement modifiées.

En dehors de l'Allemagne de l'Est, le système NEF est utilisé en Belgique et aux Pays-Bas pour l'estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. Dans les tables d'alimentation Néerlandaises (VEEVOERDER TABEL, 1976) l'équation de prédiction choisie est celle qui a été proposée pour la première fois par les chercheurs de Rostock (NEHRING et al., 1969) et qui prévoyait des coefficients différents pour la cellulose brute et l'extractif non azoté, tenant compte ainsi de la faible utilisation de l'EM provenant des substances cellulosiques.

$$\text{NEF (kcal)} = 2,49 \text{ MAD} + 8,63 \text{ MGD} + 1,5 \text{ CBD} + 3,03 \text{ ENAD}.$$

Sur le plan pratique, la valeur énergétique des aliments est exprimée en équivalents fourragers (EW) dont la valeur a été fixée à 2100 kcal NEF, c'est-à-dire correspondant à une ration moyenne (à base d'orge) utilisée pour l'engraissement des porcs.

3.3. Système UF

Le système des Unités Fourragères (UF), mis au point par le professeur LEROY (1943), a été utilisé traditionnellement en France pour mesurer la valeur énergétique des aliments chez les porcins. Il est intéressant de le comparer aux autres systèmes, qui ont bénéficié au cours de ces dernières années des progrès des connaissances en matière d'utilisation de l'énergie.

Le système UF de LEROY est basé sur le calcul de l'énergie nette des aliments à partir de l'énergie métabolisable, elle-même déduite des TDN (principes digestibles totaux). La correction de l'EM, pour l'estimation de l'énergie nette, est représentée par une perte d'extracteur d'1 kcal par g de matière sèche ingérée, ce qui revient à tenir compte en quelque sorte de la concentration en énergie de l'aliment, mais sur la base d'une correction obtenue sur différentes espèces et pour différents états physiologiques :

$$\begin{aligned} \text{EN (kcal)} &= \text{EM} - 1 \times \text{MS (g)} \\ \text{EM} &= 4,1 \times \text{TDN} \\ \text{EM} &= 4,1 \times (\text{MAD} + 2,25 \text{ MGD} + \text{CBD} + \text{ENAD}) \\ \text{EM} &= 4,1 \text{ MAD} + 9,2 \text{ MGD} + 4,1 (\text{CBD} + \text{ENAD}) \end{aligned}$$

d'où la relation :

$$\text{EN (kcal)} = 4,1 \text{ MAD} + 9,2 \text{ MGD} + 4,1 (\text{CBD} + \text{ENAD}) - 1 \times \text{MS (g)},$$

qui peut être rapprochée de celle proposée par JUST pour l'estimation de l'EN (croissance + entretien) après correction de l'EM en fonction de la concentration en énergie de l'aliment.

TABLEAU 11

COMPOSITION DES ORGES DE REFERENCE POUR LE CALCUL DES UF (LEROY) ET UF (LAIT),
(quantités en g/kg)

ORGE DE REFERENCE	UF (LEROY, 1943) (1)		UF (lait et viande) SAUVANT et FEHR (1976)
	g/kg	CUD (%)	g/kg
m. sèche	872		859
m. minérales	26		22,7
m. azotées (N x 6,25)	89	70	100,5
m. grasses	25	92	18,2
cellulose brute	56	34	46,1
extractif non azoté	676	92	671,5

(1) EM orge (kcal/kg) = 4,1. TDN = 3094

EN orge ou UF (kcal/kg) = 3094 - 872 = 2222.

L'UF correspond à la valeur énergétique nette d'un kg d'orge de référence à 87,2 % de matière sèche dont la composition est rapportée dans le tableau 11. A partir de cette valeur unitaire (2222 kcal), la valeur énergétique d'un aliment, en UF, est le rapport entre l'énergie nette de cet aliment et celle de l'orge de référence :

$$\text{Valeur énergétique (UF)} = \frac{\text{EN Aliment (g)}}{2222} = \frac{4,1 \times \text{TDN (kcal)} - 1 \times \text{MS (g)}}{2222}$$

Il convient de souligner que le système UF ne correspond pas spécialement à la valeur énergétique nette pour la croissance et que l'unité choisie ne saurait être reliée à une fonction donnée.

On peut s'apercevoir que dans la première étape du calcul de l'EM à partir des TDN, la valeur des protéines (coefficient 4,1) est très nettement sous-estimée pour la croissance, puisqu'elles sont supposées être catabolisées en totalité. Ceci implique le choix de coefficients appropriés pour la prédiction de la valeur EM.

Pour ce qui est de la correction de l'EM en fonction de l'encombrement en matière sèche, il est bon de remarquer que l'équation de LEROY, comme celle de JUST, conduit à une sous-estimation de la valeur énergétique des aliments relativement dilués en énergie.

Il est à noter que dans le cadre de la révision des systèmes d'appréciation de la valeur énergétique nette des aliments pour les ruminants, SAUVANT et FEHR (1976) ont défini, sur la base de résultats d'analyse enregistrés entre 1970 et 1975, une nouvelle orge de référence à 86 % de matière sèche et renfermant 4,6 % de cellulose brute. Les caractéristiques de cette orge sont détaillées dans le tableau 11. En utilisant l'équation de prédiction des tables néerlandaises, la teneur en énergie nette (engraissement) s'élèverait à 2160 kcal, soit une valeur légèrement supérieure à celle choisie pour définir l'équivalent fourrager (EW) dans le système néerlandais.

Dans un souci d'uniformisation des systèmes fourragers à la fois au plan national et au niveau européen, ces quelques considérations semblent militer en faveur d'une réactualisation du système UF, qui a le mérite d'exister, d'être simple, bien compris par les utilisateurs, et cohérent, car fondé sur la connaissance de l'énergie métabolisable, et pouvant bénéficier ainsi de nouveaux aménagements au niveau des paramètres relatifs à l'utilisation tant digestive que métabolique.

En définitive, ces éléments de discussion quant au choix d'un système d'appréciation de la valeur énergétique des aliments pour le porc font ressortir les points suivants :

- Le système idéal doit reposer in fine sur la détermination de l'énergie nette pour la croissance, mais un tel système ne saurait être opérationnel que lorsqu'on pourra notamment disposer de données précises sur l'influence de la composition de la ration et des nutriments sur l'utilisation de cette dernière.
- En matière d'énergie nette, le système NEF (engraissement) de Rostock est celui qui a bénéficié jusqu'à présent de plus de perfectionnements, mais il conviendrait de lui apporter des aménagements pour son utilisation aux fins de production de viande maigre.
- Compte tenu de l'accumulation des connaissances sur l'utilisation de l'énergie chez le Porc, le système UF, qui, sur le plan pratique, a derrière lui plus de trente années de succès, mériterait d'être repensé en harmonie avec les systèmes d'énergie nette déjà existants, chez le Porc comme chez les autres espèces animales, en France comme chez nos voisins européens.
- Dans une première phase, l'énergie digestible permet une bonne approximation de la valeur énergétique des aliments pour le porc, tout au moins lorsque la qualité des composants de la ration est bien maîtrisée, ce qui est le cas par exemple des régimes simplifiés à base de céréales et de tourteau de soja. Par rapport au système NEF, elle a alors pour avantage de ne pas surestimer la valeur énergétique des matières grasses, lorsqu'elles sont mal dosées, et de ne pas sous-estimer la valeur énergétique des matières azotées. La tendance actuelle vers une diversification qualitative des sources énergétiques dans l'alimentation du porc devrait cependant constituer un élément favorable à leur évaluation sur la base de l'énergie nette.

II - ALIMENTATION ENERGETIQUE DU PORC EN CROISSANCE

L'une des conditions essentielles en matière de production de viande porcine réside dans la détermination de l'apport énergétique compatible avec l'obtention des performances optimales de croissance et les caractéristiques de carcasses recherchées. En dehors de l'expérimentation directe sur animaux, portant sur l'étude

des variations de réponse aux différentes modalités de l'apport énergétique, on peut concevoir une approche analytique du besoin énergétique pour la croissance, basée sur une meilleure connaissance des composantes du besoin, en prenant notamment en considération l'intensité du gain pondéral, sa composition et son coût énergétique. Une telle démarche mérite d'être tentée afin de mieux expliquer les effets des variations surtout quantitatives de l'apport énergétique sur les performances des animaux, suivant que ces derniers sont nourris à volonté ou subissent une restriction énergétique par rapport à leurs capacités maximales d'ingestion.

A - Coût énergétique de la croissance

1. Contenu énergétique du gain et ses variations

Le contenu énergétique du gain est en relation directe, d'une part avec les proportions respectives de protéines et de lipides dans la matière organique déposée, et d'autre part avec sa composition tissulaire (tissu musculaire, dépôt gras, squelette). Comme le dépôt d'un gramme de protéines est associé à une fixation de 3,1 g d'eau (KOTARBINSKA, 1969) et que la formation d'1 gramme de lipides ne modifie guère le gain pondéral (VAN ES, 1970), les contenus énergétiques correspondants en kcal par g de tissu musculaire et de dépôts gras sont approximativement dans le rapport de 1 à 3 ou 4, comme l'ont signalé FOWLER et al. (1976) et KIELANOWSKI (1976). Il en découle que le contenu énergétique du gain varie dans le même sens que le pourcentage d'énergie fixée sous forme de lipides et en relation inverse avec le rapport muscle/graisse.

L'évolution du contenu énergétique du gain pondéral en fonction de l'âge ou du poids vif a été précisée en certaines occasions à partir de bilans énergétiques basés, soit sur l'analyse chimique corporelle, soit sur la mesure des échanges respiratoires (méthode C-N) à des stades plus ou moins rapprochés de la croissance. La référence au poids vide permet de tenir compte des variations inévitables de contenu digestif, notamment dans le cas de l'utilisation de rations fortement celluloses (JUST et al., 1976).

Dans le tableau 12, d'après les travaux d'OSLAGE (1962), nous avons fait figurer l'évolution moyenne du contenu énergétique du gain de poids vif vide dans des intervalles de poids successifs entre 25 et 110 kg. On constate une augmentation rapide du contenu énergétique du gain, de 3000 à 4440 kcal/kg vif, entre les stades 25-40 et 40-60 kg, parallèlement à une élévation de la teneur en lipides, alors qu'au-delà de 60 kg les variations sont relativement faibles. Il faut cependant préciser qu'il s'agissait de mâles castrés soumis à un plan d'alimentation en fonction du poids vif, ce qui peut expliquer une limitation relativement précoce du contenu énergétique du gain.

TABLEAU 12

EVOLUTION DU CONTENU ENERGETIQUE DU GAIN EN FONCTION DU POIDS VIF
CHEZ LE PORC EN CROISSANCE (1)

(d'après OSLAGE, 1962)

INTERVALLE DE POIDS, kg	25 - 40	40 - 60	60 - 90	90 - 110
Gain moyen/j	560	715	770	800
Composition du gain, %				
Eau	57,3	46,0	38,0	42,8
Protéines	16,7	13,0	13,2	13,6
Lipides	23,7	41,2	45,9	40,6
Contenu énergétique du gain				
kcal/kg vif	3200	4660	5115	4635
kcal/kg vide (2)	3000	4440	4750	4540
% énergie fixée sous forme de lipides	70	84	85	83
Rendement (estimé) de l'utilisation de l'EM pour la croissance, % (3)	68	71	71	71
Coût énergétique (estimé) du gain, kcal EM/kg vif	4400	6260	6700	6400

(1) Animaux (Landrace allemands mâles castrés et femelles) soumis à un plan d'alimentation en fonction du poids vif ; régime orge-tourteau de soja - farine de poisson - farine de luzerne.

(2) Poids vide % poids vif : respectivement 91, 92, 93 et 94 dans les 4 intervalles de poids.

(3) Compte tenu des rendements respectifs de 50 et 75 % pour la fixation des protéines et des lipides.

TABLEAU 13
EVOLUTION DE L'ENERGIE FIXEE CHEZ LE PORCELET (1)
(BÖHME et al., 1976)

AGE, j	15 - 22	23 - 30	31 - 38	39 - 46	47 - 54
POIDS VIF, kg	4,4	6,4	9,4	13,2	17,4
Gain moyen/jour, g	225	303	439	507	555
EM, kcal/jour	766	1154	1718	2248	2863
Energie fixée, kcal/kg gain .	1400	1730	1710	1980	2350
% énergie fixée sous forme de lipides	37	39	45	50	54

(1) Moyenne de 8 porcelets Landrace allemands placés en chambres respiratoires.

Chez le porcelet (tableau 13), les résultats de BÖHME et al. (1976) font également apparaître un accroissement de la quantité d'énergie fixée par kg de gain, de 1400 kcal à 4 kg de poids vif jusqu'à 2400 vers 20 kg, parallèlement à l'augmentation de la proportion d'énergie fixée sous forme de lipides.

Le contenu énergétique du gain varie par ailleurs en fonction du sexe, comme le montrent les résultats du tableau 14, d'après les données de JUST NIELSEN (1970). Il est plus élevé chez les mâles castrés, comparativement aux femelles, en raison d'une adiposité supérieure. Selon JENTSCH et HOFFMANN (1977), le contenu énergétique du gain chez des porcs mâles castrés de race allemande nourris à volonté s'élève de 3700 à 5800 kcal/kg entre 30 et 125 kg de poids vif, pour un gain moyen de 750 g/j, tandis que le pourcentage d'énergie fixée sous forme de lipides augmente de 80 à 90 %.

TABLEAU 14
EVOLUTION DU CONTENU ENERGETIQUE DU GAIN EN FONCTION DU POIDS VIF
CHEZ LE PORC EN CROISSANCE (1)
(d'après les données de JUST NIELSEN, 1970)

POIDS VIF, kg		30	40	50	60	70	80
Gain moyen/jour, g.	Sexe						
	F	450	570	660	710	730	740
% énergie fixée sous forme de lipides	MC	450	560	630	680	740	760
	F	31	53	69	76	78	82
Contenu énergétique du gain, kcal/kg	MC	41	69	77	80	83	87
	F	1700	2400	3000	3500	4000	4500
Rendement (estimé) de l'utilisation de l'EM pour la croissance (2)	MC	1950	2750	3500	4000	4400	4700
	F	58	63	67	69	70	71
Coût énergétique (estimé) du gain, kcal/kg	MC	60	67	69	70	71	72
	F	2900	3800	4500	5100	5700	6350
	MC	3250	4100	5100	5700	6200	6550

(1) Porcs Landrace Danois soumis à un plan d'alimentation en fonction du poids vif ; régime orge - complément azoté (85 % tourteau de soja - 15 % farine de viande) + poudre de lait écrémé en début de croissance.

(2) Compte tenu des rendements respectifs de 50 et 75 % pour la fixation des protéines et des lipides.

Il n'existe pas de données précises sur les variations du contenu énergétique du gain en fonction du type génétique. On sait cependant que la sélection des porcs en vue d'un développement accru du tissu musculaire au détriment des dépôts gras a conduit à un très net élargissement de l'éventail de variation de la composition tissulaire, puisque le rapport muscle/graisse varie dans les limites de 1 ou moins chez les porcs obèses à plus de 4 chez les types de porcs à musculature hypertrophiée ou culards (HENRY, 1977b). Ceci a pour

conséquence une diminution du coût énergétique du gain chez les porcs à fort développement musculaire comparativement à ceux de type gras.

2. Coût énergétique du gain

Le coût énergétique du gain, exprimé notamment en kcal d'EM, est représenté par le produit de son contenu énergétique, en kcal, par le coût de fixation de l'énergie (kcal EM/kcal d'énergie fixée). Or, ce dernier est lui-même la résultante des coûts d'EM pour fixer 1 kcal d'énergie sous forme de protéines et de lipides, compte tenu de leurs proportions respectives dans l'énergie fixée.

A partir des valeurs moyennes des rendements de l'utilisation de l'EM pour la fixation des protéines et de lipides, soit respectivement 50 et 75 %, on peut ainsi estimer le rendement global de l'utilisation de l'EM pour la croissance. L'évolution de ce rendement, qui oscille généralement entre 60 et 70 %, est illustrée dans les tableaux 12 et 14, constitués à partir des données originales d'OSLAGE et de JUST NIELSEN. On y voit notamment apparaître une amélioration de l'utilisation globale de l'EM avec l'âge, parallèlement à un accroissement du pourcentage de l'énergie fixée sous forme de lipides. De même, la comparaison des mâles castrés et des femelles permet d'établir une relation entre le rendement de l'utilisation de l'EM pour la croissance et le degré d'adiposité du type de porc utilisé. Il est clair que le même type de relation devrait être trouvé lors de comparaisons entre races ou intra races.

En définitive, les variations du coût énergétique du gain en fonction de l'intensité du développement musculaire ou de l'importance des dépôts gras résultent d'effets inverses au niveau de son contenu énergétique (en relation directe avec l'état d'adiposité) et du coût de l'énergie fixée (en relation inverse avec l'état d'adiposité). Quoi qu'il en soit, compte tenu de la faible marge de variation de celui-ci, le coût énergétique du gain évolue de la même façon que le contenu de ce dernier.

B - Apport énergétique pour la croissance

Le problème de l'apport énergétique chez le porc en croissance peut être examiné de deux façons, suivant que l'animal a la possibilité ou non de régler lui-même son niveau d'ingestion alimentaire :

- Si le porc est nourri à volonté, il est important de savoir comment il ajuste son niveau d'ingestion face à ses dépenses énergétiques de croissance, elles-mêmes déterminées par ses potentialités génétiques (intensité et coût énergétique du gain).
- Pour un niveau d'ingestion énergétique préétabli, il s'agit de connaître la réponse du porc sur le plan des performances réalisées (intensité du croît, efficacité alimentaire et caractéristiques de composition corporelle), tout en tenant compte de ses aptitudes génétiques.

1. Ajustement du niveau d'ingestion énergétique en alimentation à volonté

1.1. Influence de la concentration en énergie du régime

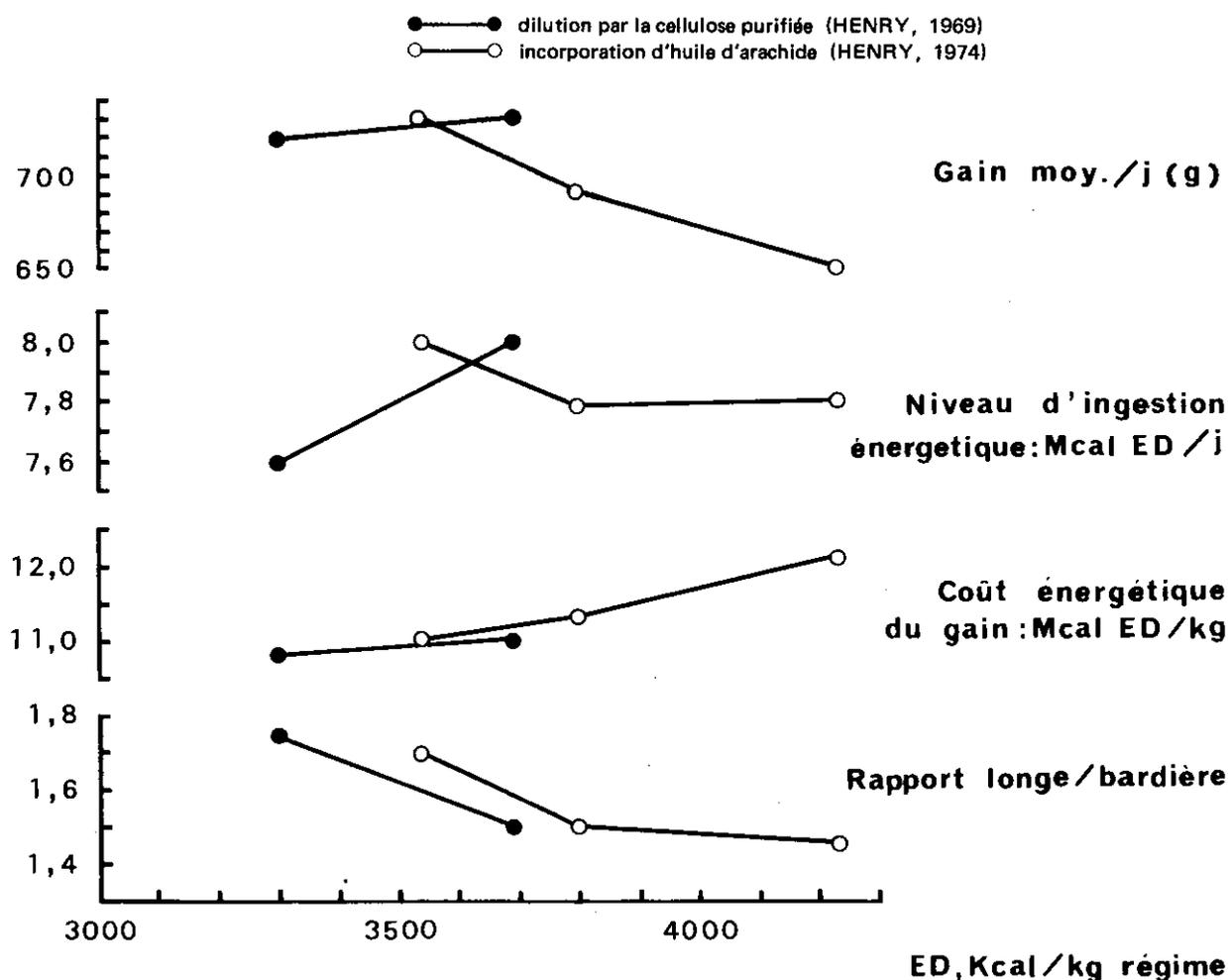
Le porc est réputé pour son comportement boulimique, accompagné d'une adiposité excessive de sa carcasse, lorsqu'il a un libre accès à un aliment riche en énergie. Seul un contrôle quantitatif du niveau d'ingestion énergétique permet d'obtenir une réduction de l'état d'engraissement des animaux à l'abattage, dès lors qu'il s'agit de combattre un excès d'adiposité induit par hyperphagie.

Dans les conditions de l'alimentation à volonté, c'est avant tout par une limitation de la concentration en énergie de la ration que l'on peut espérer un abaissement du niveau d'ingestion énergétique. Au cours d'une série d'expériences réalisées avec des porcs femelles et mâles castrés de race Large White, de type relativement gras, nous avons ainsi étudié les conséquences d'une modification de la concentration en énergie de la ration sur le niveau spontané d'ingestion, les performances de croissance et les caractéristiques de composition corporelle, dans une gamme très étendue de valeurs énergétiques, allant de 3,3 à plus de 4,2 Mcal ED/kg d'aliment frais. Les résultats, qui sont regroupés dans la figure 3, montrent qu'une élévation de la concentration en énergie au-delà de 3,3 Mcal ED/kg entraîne dans un premier temps (jusqu'à 3,7 Mcal ED/kg) une légère augmentation de la consom-

mation d'ED qui se maintient ensuite pratiquement en plateau, tandis que la vitesse de croissance, d'abord améliorée, diminue aux fortes concentrations en énergie (et en matières grasses). Cette réponse défavorable aux taux élevés de matières grasses peut être attribuée notamment à un apport insuffisant d'énergie sous forme de glucides pour assurer une utilisation optimale de la fraction azotée. Le coût énergétique du gain, en Mcal ED/kg, est d'abord peu modifié, mais augmente fortement au-delà de 3,7 Mcal/kg, tandis que l'adiposité des carcasses est progressivement accentuée (diminution du rapport longe/bardière), et ceci d'autant plus que les concentrations élevées en énergie correspondent à des taux massifs d'incorporation de matières grasses.

FIGURE 3

RELATION ENTRE LA CONCENTRATION EN ENERGIE DU REGIME ET LES PERFORMANCES DE CROISSANCE
(PORCS LARGE WHITE NOURRIS A VOLONTE ENTRE 20 ET 90 kg)



Dans la zone habituelle de concentration en énergie de la ration (entre 2,9 et 3,4 Mcal ED/kg, correspondant à des régimes à base de céréales, depuis les moins énergétiques (avoine et orge) jusqu'aux plus riches en énergie (blé et maïs), une dilution énergétique de la ration, comme aux plus faibles concentrations mentionnées précédemment, provoque dans l'ensemble un accroissement de la quantité moyenne journalière d'aliment consommé, mais dans une proportion cependant moindre que celle de l'augmentation de la concentration en énergie, de sorte que le niveau d'ingestion énergétique est légèrement abaissé (HENRY et RERAT, 1972). Il en résulte une légère diminution de la vitesse de croissance et surtout une réduction sensible de l'état d'engraissement des carcasses à l'abattage. Bien entendu, l'indice de consommation est accru, mais le coût énergétique du gain n'est pratiquement pas modifié.

Avec des porcs de type gras (qui représentent encore plus de 70 % du cheptel national), la concentration en énergie du régime, lorsque celui-ci est alloué à volonté, doit ainsi être maintenue en-dessous de 3,2 - 3,3 Mcal ED/kg, correspondant à un régime à base de maïs et de tourteau de soja, si l'on veut freiner le développe-

ment excessif de dépôts gras dans la carcasse. L'utilisation de rations moins riches en énergie (à base d'orge par exemple) et renfermant de l'ordre de 3,0 - 3,1 Mcal ED/kg permet d'améliorer encore davantage la qualité des carcasses, au détriment toutefois d'une augmentation sensible de l'indice de consommation pondérale. Sur le plan de l'utilisation stricte de l'énergie, ceci pose le problème de la destination particulière des sources énergétiques en alimentation animale selon l'espèce considérée. S'agissant de la production de viande de porc, ce sont précisément les aliments à concentration moyenne en énergie, comme l'orge, qui semblent le mieux convenir au double point de vue de la qualité du produit fini et de l'économie globale de protéines complémentaires, comparative-ment à d'autres aliments plus riches en énergie mais aussi plus pauvres en protéines, comme le maïs.

Dans le cas des aliments riches en énergie, tels le maïs, une dilution de l'énergie de la ration est également possible et pourrait être obtenue par l'incorporation d'aliments cellulosiques. Mais il en résulterait inévitablement un gaspillage de l'énergie, tant au niveau de la digestibilité que de l'utilisation métabolique, ce qui n'est guère envisageable dans une conjoncture d'optimisation de l'utilisation des sources énergétiques. La seule solution pour limiter l'état d'engraissement des carcasses est alors le recours au rationnement.

En ce qui concerne le porcelet, la concentration optimale en énergie pour la croissance se situe à un niveau plus élevé que chez le porc plus âgé. D'après O'GRADY et BOWLAND (1972) des porcelets sevrés à 2 semaines d'âge et d'un poids compris entre 4 et 25 kg de poids vif réagissent le plus favorablement à des régimes renfermant, selon l'expérience, 3,2 ou 3,4 Mcal ED/kg, alors qu'à une concentration de 2,6 Mcal, on observe une sévère dépression de la croissance, allant jusqu'à la mortalité des animaux. A la suite d'une élévation de la valeur énergétique de l'aliment de 3 à 3,5 Mcal EM/kg, entre 3 et 5 semaines d'âge, chez des animaux pesant initialement 5 kg, MENGE et FROBISH (1976) concluent à une amélioration de la croissance pondérale. De leur côté, CAMPBELL et al. (1975) ainsi que LEIBBRANDT et al. (1975) n'enregistrent aucun effet favorable d'un accroissement de la concentration énergétique au-delà de 3,6 Mcal ED par l'incorporation de matières grasses supplémentaires dans la ration chez des jeunes de 5 à 20 kg de poids vif. D'après ces principaux résultats, il apparaît ainsi qu'une concentration énergétique de l'ordre de 3,5 à 3,6 Mcal ED/kg semble optimale pour des porcelets sevrés à 2 ou 3 semaines.

Si le niveau d'ingestion d'aliment est déterminé avant tout par sa concentration en énergie, en vue de la satisfaction du besoin énergétique, il est également sous la dépendance du taux de matières azotées et de l'équilibre de celles-ci en acides aminés, entraînant des effets d'interaction entre les fractions énergétique et azotée de la ration. Une élévation importante de la concentration en énergie implique le maintien d'un rapport matières azotées/énergie constant pour éviter, par l'effet dépressif sur le niveau d'ingestion, une consommation insuffisante de protéines pour la croissance (HENRY et RERAT, 1972). Il en est de même au niveau de l'équilibre en acides aminés. Ainsi, une déficience primaire en tryptophane, associée à un excès relatif de lysine (facteur limitant secondaire), induit une dépression sévère de la consommation d'aliment, qui retentit défavorablement sur les performances de croissance (HENRY et PASTUSZEWSKA, 1976). Par ailleurs, une réduction du taux azoté global de la ration, consécutive à une supplémentation en acides aminés limitants, comparativement à un régime témoin normalement pourvu en protéines, provoque chez le porc une hyperphagie compensatrice, dans le but probablement de mieux satisfaire son besoin azoté, ce qui a pour résultat de favoriser l'adiposité des carcasses à l'abattage (NOBLET et HENRY, 1977). Cette surconsommation relative, qui est observée avec des régimes à base de maïs, riches en énergie, semble cependant moins importante avec des rations à base d'orge, à concentration moyenne en énergie et présentant un encombrement plus élevé, ce qui pourrait indiquer une limite supérieure à l'ingestion en fonction de l'encombrement de la ration.

Il faut noter qu'une modification quantitative de la concentration en énergie est le plus souvent associée à un changement qualitatif dans la nature des substrats énergétiques utilisés pour faire varier cette concentration, ce qui conduit inévitablement à une confusion des deux effets au niveau des performances finales. Pour une même ingestion énergétique, la présence de matières grasses dans le régime favorise l'état d'engraissement et provoque une modification de la composition des dépôts gras, principalement lorsqu'elles sont riches en acides gras polyinsaturés (acide linoléique notamment - HENRY, 1972). Comme il a été indiqué précédemment, une proportion excessive de lipides par rapport aux glucides dans l'énergie alimentaire peut conduire à une moins bonne utilisation des protéines pour la croissance, par défaut d'énergie immédiatement disponible sous forme d'ATP pour les synthèses. L'introduction de substances cellulosiques accroît l'importance des acides gras volatils (acide acétique, acide propionique...) dont l'EM est utilisée avec un rendement moindre que celle provenant des glucides (tableau 10). Sur le plan pratique, le même type d'interaction est observé à la suite du remplacement de l'orge (relativement cellulosique) par le maïs (relativement riche en acides gras polyinsaturés).

1.2. Variations de réponse selon le type génétique

Compte tenu des difficultés rencontrées dans la maîtrise de l'état d'engraissement des carcasses par la seule voie nutritionnelle, dans les conditions d'alimentation à volonté, il nous a paru intéressant d'étudier l'incidence du génotype sur les modalités d'ajustement du niveau d'ingestion pour la production de viande maigre.

Chaque génotype étant caractérisé par un certain profil de développement musculaire (rapport muscle/graisse en particulier), il est possible d'établir une correspondance entre l'intensité du gain et le besoin énergétique pour la croissance stricte, après déduction de la part de l'entretien. Ainsi, pour un même gain de poids journalier et comparativement à un type de porc gras, un génotype présentant un rapport muscle/graisse élevé, dont le coût énergétique du gain est par conséquent plus faible, a un besoin d'EM au-dessus de l'entretien abaissé, ce qui implique une réduction du niveau d'ingestion d'aliment et une amélioration de l'efficacité alimentaire. Ceci est illustré dans un travail de SELLIER et al. (1974, 1978), dans lequel étaient comparées les performances de porcs femelles à forte musculature (Landrace Belge, Piétrain) et celles d'animaux présentant une conformation normale (Landrace Français). Avec une vitesse de croissance légèrement inférieure à celle des témoins Landrace Français (692 g/j entre 27 et 95 kg de poids vif contre 713) les porcs Landrace Belge ont une consommation d'aliment réduite de 8 %, tandis que l'indice de consommation est abaissé de 4 % (tableau 15). Dans le cas des animaux de race Piétrain, également à fort développement musculaire mais à croissance ralentie (564 g/j), le niveau d'ingestion est réduit de 21 %. L'indice de consommation est cette fois augmenté de 5 %, compte tenu d'une part plus importante de l'entretien dans la dépense énergétique totale, et ceci malgré un coût énergétique du gain au-dessus de l'entretien comparable à celui du Landrace Belge.

TABLEAU 15

PERFORMANCES COMPAREES DE PORCS EN CROISSANCE SELON LE TYPE GENETIQUE (1)

(d'après SELLIER et al., 1974)

RACE	LANDRACE FRANCAIS	LANDRACE BELGE	PIETRAIN
Gain moyen/jour, g	713	692	564
Consommation/jour :			
— aliment, kg	2,34	2,16	1,89
— EM, Mcal	7,08	6,53	5,72
Indice de consommation, kg aliment/kg gain	3,26	3,13	3,41
EM disponible pour la croissance, kcal	4,58	4,03	3,22
Coût énergétique du gain au-dessus de l'entretien, Mcal EM/kg	6,42	5,82	5,71
Rapport longe/bardière	2,69	3,37	3,31

(1) Porcs femelles nourris à volonté entre 27 et 95 kg de poids vif.

(2) Valeur énergétique moyenne des régimes : 3025 kcal EM/kg

(3) Après déduction du besoin d'entretien (115 kcal EM/kg^{3/4} au poids vif moyen de 61 kg, soit 2,5 Mcal EM/j).

Etant donné que les performances de croissance réalisées (intensité et composition du gain) sont en relation directe avec la quantité d'énergie disponible au-dessus du besoin d'entretien (lui-même proportionnel au poids métabolique), il est commode de comparer les niveaux d'ingestion énergétique en les rapportant au poids métabolique (P^{3/4}). Les résultats du tableau 16 montrent effectivement que la consommation d'ED en Mcal/kg^{3/4}, ou en multiple de l'entretien, est nettement plus faible chez les porcs à fort développement musculaire (Landrace Belge, Piétrain) que chez ceux de type gras (Landrace Français, Large White). Elle est en relation à la fois avec le gain moyen journalier et la qualité de la carcasse (rapport longe/bardière). Des différences du même ordre sont observées entre les femelles et les mâles castrés dont le niveau d'ingestion énergétique est de 7 % supérieur à celui des femelles.

TABLEAU. 16

VARIATIONS DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE (Mcal ED) PAR KG DE POIDS MÉTABOLIQUE (P, kg^{3/4}) EN FONCTION DU TYPE GÉNÉTIQUE ET DU SEXE (1)

EXPERIENCE	SEXE	TYPE GÉNÉTIQUE	CONSOMMATION ED, Mcal/kg ^{3/4} (2)	GAIN MOYEN/J. g	RAPPORT LONGE/BARDIERE
I	Femelles	Piétrain	0,270 ± 0,009	558	3,3
		Landrace Belge	0,314 ± 0,009	690	3,4
		Landrace Français	0,340 ± 0,010	718	2,7
II	Femelles	Large White	0,363 ± 0,011	730	2,1
	Mâles castrés	Large White	0,389 ± 0,010	755	1,75

(1) Expérience I : d'après les données de SELLIER et al. (1974, 1978) ; animaux entre 27 et 95 kg de poids vif.

Expérience II : d'après les données de NOBLET et HENRY (1977) ; animaux entre 20 et 100 kg de poids vif.

(2) Calcul de régression de la consommation moyenne d'ED/j et par groupe sur le poids métabolique moyen par quinzaine au cours de la croissance, avec contrainte de passage par l'origine (ordonnée à l'origine non significativement différente de zéro).

On pourrait spéculer sur la relation de cause à effet entre le faible niveau d'ingestion et le développement réduit du gras chez les porcs à fort développement musculaire. Comme le suggèrent ALLEN et al. (1974), un développement intense du tissu musculaire, notamment sous l'effet de la sélection, est nécessairement maintenu jusqu'à un âge plus avancé et provoque de ce fait un retard dans le développement du tissu adipeux, dont l'importance est ainsi plus faible pendant la phase de croissance musculaire active.

Les différences de comportement entre génotypes sur le plan de l'ajustement du niveau d'ingestion alimentaire se retrouvent dans les variations de réponse à la concentration en énergie du régime. Ce type d'interaction entre le génotype et la valeur énergétique de la ration a été mis en évidence dans l'étude déjà citée de SELLIER et al. (1974), portant sur la comparaison de deux concentrations en énergie (3,0 et 3,3 Mcal ED/kg, pour des régimes renfermant respectivement de l'orge et du maïs avec un rapport matières azotées/ED constant) chez des porcs femelles Landrace Français, Landrace Belge et Piétrain nourris à volonté entre 27 et 95 kg de poids vif. Tandis que les porcs Landrace Français, de type plutôt gras, réagissent à une augmentation de la concentration en énergie du régime par un accroissement de leur état d'engraissement, les animaux de race Piétrain, à fort développement musculaire, présentent un état d'adiposité plus faible avec le régime le mieux pourvu en énergie, tandis que les porcs Landrace Belge réagissent d'une façon intermédiaire. Compte tenu de leur capacité d'ingestion limitée, les animaux Piétrain semblent accroître légèrement leur consommation d'ED avec le régime le plus énergétique, surtout avant 50 kg de poids vif, en utilisant cet apport supplémentaire d'énergie avant tout pour la formation des tissus maigres. Les Landrace Français, au contraire, utilisent l'excès d'énergie principalement pour constituer des dépôts gras.

Lors de la comparaison de porcs croisés issus de pères Piétrain et Landrace Français, BOLET et al. (1977) enregistrent des interactions moins nettes entre le type de croisement et la concentration en énergie de la ration. L'utilisation de régimes à valeur énergétique élevée (3,3 Mcal ED/kg, à base de maïs) semble procurer une stimulation plus nette de la vitesse de croissance dans le cas des croisés Piétrain et principalement entre 30 et 60 kg de poids vif, et ceci sans que la composition corporelle soit sensiblement modifiée.

2. Apport restreint d'énergie

Afin d'éviter l'excès d'adiposité des porcs dans les conditions d'alimentation à volonté et compte tenu des possibilités limitées de contrôle du niveau d'ingestion par la seule intervention sur la concentration en énergie du régime, il est souvent nécessaire de recourir à un apport restreint d'aliment selon un plan d'alimentation établi généralement en fonction du poids vif (ce qui implique une pesée périodique des animaux), ou plus rarement en fonction de l'âge (ce qui suppose une connaissance préalable de la croissance pondérale).

Dans l'ajustement de l'apport quotidien d'énergie, pour un poids vif donné, l'intensité de la restriction alimentaire doit être établie par rapport au niveau d'ingestion à volonté et tenir compte des différences dans le profil de la croissance tissulaire, notamment selon le sexe et le type génétique. Les premiers travaux du genre,

réalisés par McMEEKAN (1940, 1941), ont montré qu'un profil d'alimentation libérale en début de croissance puis restreinte en finition (au-delà de 50 kg de poids vif) correspondait à l'obtention de performances optimales, sur le plan tant de l'indice de consommation que des caractéristiques de composition corporelle, ce qui a conduit à développer au niveau des élevages une pratique de rationnement de type Haut-Bas. En raison d'un développement rapide, voire explosif, des dépôts gras dès le jeune âge (15 % de lipides dans l'organisme vers 2 mois d'âge, entre 15 et 20 kg de poids vif, contre 1 à 2 % à la naissance), tout au moins dans les races communément exploitées (Large White notamment), les études plus récentes (DESMOULIN et BOURDON, 1971 ; MOAL et al., 1972) ont conclu à l'intérêt d'appliquer un rationnement progressif, par rapport à une alimentation trop libérale en début de croissance (en favorisant à l'excès les dépôts gras) et trop sévère pendant la période de finition (au point de porter atteinte au développement musculaire lui-même).

Lorsque les porcs sont soumis à un plan de rationnement, les performances réalisées (intensité et composition du gain) sont par ailleurs dépendantes du niveau de l'apport énergétique. Pour une quantité d'EM donnée au-dessus de l'entretien, le gain pondéral et l'efficacité alimentaire sont d'autant meilleurs que le coût énergétique du gain est lui-même plus faible, c'est-à-dire dans le cas d'un développement musculaire prédominant.

On explique de cette façon que sous l'effet de fortes restrictions énergétiques de même intensité, les femelles réagissent plus favorablement que les mâles castrés : vitesse de croissance supérieure, indice de consommation et état d'engraissement plus faibles (DESMOULIN, 1969, 1973). Compte tenu des contraintes imposées au niveau de la qualité des carcasses, les femelles peuvent être soumises à un niveau d'alimentation nettement plus libéral que les mâles castrés. Chez les femelles, une restriction énergétique modérée (de l'ordre de 90 % du niveau à volonté) permet d'améliorer très nettement les caractéristiques de composition corporelle et sans détérioration de l'indice de consommation. Chez les mâles castrés, au contraire, une réduction sensible de l'état d'adiposité ne peut être obtenue qu'avec un rationnement très sévère pendant la phase de finition (70 % du niveau à volonté, lui-même supérieur de 10 % à celui observé chez les femelles), et au prix d'une forte augmentation du coût alimentaire. Sur le plan pratique, ceci conduit à nous interroger sur l'efficacité du rationnement d'un animal naturellement obèse comme le castrat, les problèmes posés par la castration des mâles ou sa suppression étant développés par ailleurs (DESMOULIN, 1978).

La différenciation de l'intensité de la restriction énergétique selon le sexe et la castration doit être envisagée de la même façon en fonction des aptitudes génétiques des animaux. L'existence d'une interaction entre le génotype et le niveau de restriction alimentaire a été mise en évidence pour la première fois par DAVEY et al. (1969) lors de la comparaison de porcs de lignées maigres et grasses sélectionnées au sein des races Duroc et Yorkshire. La réduction de la vitesse de croissance consécutive à l'application d'un niveau restreint d'alimentation représentant 75 % du niveau *ad libitum* est surtout importante dans les lignées Duroc tandis que l'efficacité alimentaire est surtout améliorée dans les lignées Yorkshire.

Chez les porcs de type gras, qui présentent un développement précoce du tissu adipeux, il convient donc de limiter l'apport énergétique dès la phase initiale de la croissance. Chez les porcs à fort développement musculaire, au contraire, bien qu'il y ait très peu de données chiffrées sur le sujet, c'est le rationnement de type libéral, voire l'alimentation à volonté, qui permet d'associer une forte production de tissus maigres et un état d'engraissement réduit à une efficacité alimentaire optimale.

Comme en alimentation à volonté, les effets propres d'une restriction énergétique peuvent être partiellement confondus avec ceux résultant d'une modification éventuelle de l'importance relative des différents constituants énergétiques de la ration. Ainsi, l'utilisation de régimes renfermant un taux de matières azotées excédant le niveau du besoin provoque une réduction de l'énergie nette disponible pour la croissance, et par voie de conséquence une diminution de l'état d'engraissement des animaux à l'abattage, comparativement à des rations plus riches en amidon (COOKE et al., 1972). Le phénomène inverse est observé lorsque la restriction énergétique est accompagnée d'une réduction du taux global de matières azotées par voie de supplémentation en acides aminés limitants (HENRY, 1977a).

C - Recommandations pratiques

Les recommandations en matière d'apport énergétique sont formulées soit en concentration énergétique dans la ration, dans le cas de l'alimentation à volonté, soit en quantité journalière d'énergie, dans les conditions du rationnement. Dans tous les cas, elles sont déterminées à la fois en fonction des potentialités du type d'animal utilisé, des contraintes imposées au niveau de la qualité des carcasses, ainsi qu'en fonction des conditions d'environnement (climat, saison, type d'habitat). Cela signifie qu'à la limite c'est l'éleveur lui-même qui adapte les recommandations à la situation particulière de son élevage.

Ceci explique également les différences de recommandations suivant les pays. Aux Etats-Unis, par exemple, où les porcs sont nourris à volonté et fournissent des carcasses relativement grasses, le niveau de l'apport énergétique (Normes NRC, 1973) est de l'ordre de 25 à 30 % supérieur à celui pratiqué en France et dans les autres pays européens, où les porcs sont généralement rationnés en vue de la production de viande maigre.

Il est possible d'établir les recommandations énergétiques selon un mode de prévision factorielle à partir du moment où l'on dispose d'informations suffisamment précises sur les éléments du coût énergétique du gain. Ce mode d'estimation a été utilisé notamment par SCHIEMANN et al. (1972) qui ont ainsi formulé des normes d'apport d'énergie nette engraissement en fonction du poids vif et du gain moyen journalier correspondant. S'il s'agit là d'une première tentative de modulation du besoin énergétique selon l'importance du croît, il n'en demeure pas moins qu'elle est encore insuffisante, car il n'est pas tenu compte des variations du coût énergétique du gain ni en fonction de son intensité à un poids donné, ni en fonction du poids lui-même. La prise en considération de ces éléments du coût énergétique du gain en relation avec les caractéristiques du développement tissulaire (rapport muscle/graisse, rapport muscle/os...) devrait permettre d'envisager à terme une approche plus fine du besoin énergétique en fonction du type de porc utilisé.

Dans le cas de l'alimentation à volonté, les recommandations en matière de concentration en énergie sont relativement larges, puisque le porc a la possibilité de corriger son niveau d'ingestion alimentaire face à son besoin énergétique. Pour le porc en croissance-finition, elles se situent ainsi généralement dans une gamme comprise entre 3,0 et 3,4 Mcal ED/kg, et dépendent avant tout de la valeur énergétique des céréales utilisées : de l'ordre de 3,0 - 3,1, avec l'orge et 3,3 - 3,4 avec le maïs, en association avec le tourteau de soja. Comme il a été indiqué précédemment, il serait mal venu en effet de réduire la valeur énergétique de rations fortement énergétiques par l'incorporation de substances celluloseuses, mais une fortification de régimes faiblement énergétiques est possible par l'adjonction de matières grasses. Remarquons par ailleurs que pour éviter un état d'engraissement excessif avec des types de porc relativement gras, il est recommandé de limiter la marge de variation de la concentration en énergie de la ration dans la zone 3,0 - 3,2 Mcal ED/kg.

En ce qui concerne le porcelet au sevrage, la concentration optimale en énergie se situe aux alentours de 3,4 à 3,6 Mcal ED/kg, compte tenu de la présence dans le régime de glucides et de matières azotées hautement digestibles et de matières grasses supplémentaires. En dehors des quelques jours suivant immédiatement le sevrage, correspondant à un état de sous-consommation et à une mobilisation intense des dépôts lipidiques corporels au profit généralement d'une fixation soutenue de protéines, le porcelet est en mesure d'ajuster son niveau d'ingestion alimentaire dans la zone optimale de concentration énergétique de la ration. Sur le plan qualitatif, il convient de respecter un équilibre favorable entre les proportions d'EM fournies sous forme de glucides et de lipides, puisqu'il est reconnu qu'un apport excessif de lipides entraîne une moins bonne utilisation de l'EM pour la croissance musculaire. En se basant sur les données de BÖHME et al. (1976), valables pour des porcelets pesant entre 5 et 15 kg, et en supposant que les lipides sont apportés en quantité juste suffisante pour être fixés dans les dépôts, on peut estimer, compte tenu d'un CUD moyen des lipides de 85 % et d'un rendement de 95 - 98 % pour leur fixation dans les dépôts gras, que le taux de matières grasses dans la ration d'un porcelet sevré devrait se situer aux alentours de 10 %, correspondant à 20 % environ de l'EM sous forme de lipides.

La concentration en énergie de la ration étant fixée, il importe dans tous les cas de se conformer aux recommandations d'apport d'acides aminés indispensables et de matières azotées relativement à l'énergie (DUEE et SEVE, 1978).

Dans les conditions du rationnement, il est clair que pour le choix du profil de l'apport journalier d'énergie en fonction de l'âge ou du poids vif, il ne saurait être question de ne pas tenir compte du potentiel de développement de tissus maigres du type de porc considéré, ni des contraintes liées à la commercialisation des carcasses. Quoi qu'il en soit, pour la population de porcs communément exploités en France (types Large White et Landrace), on peut formuler des recommandations d'apport énergétique en fonction du poids vif (entre 20 et 100 kg) sur la base d'une différenciation des apports selon le sexe (tableau 17). A ces recommandations correspondent un certain niveau de performances, sur le plan aussi bien du gain moyen journalier que des caractéristiques finales des carcasses à l'abattage (rapport longe/bardière). Les femelles sont généralement soumises à un niveau d'alimentation voisin du niveau à volonté. Quant aux mâles castrés, l'apport énergétique est sévèrement restreint au-delà de 60 kg de poids vif, l'intensité de la restriction étant de plus fonction du type génétique. Chez le porc de race Large White, l'application d'un plan de rationnement sévère permet ainsi un gain de deux classes commerciales par rapport à l'alimentation à volonté. Il est à noter par ailleurs que les recommandations établies s'appliquent à des animaux qui sont placés dans des conditions d'environnement favorable, voisines de la thermo-neutralité. Si tel n'est pas le cas, il convient d'apporter un correctif pour la quantité journalière d'aliment. Comme l'a indiqué DESMOULIN (1976), il n'y a donc pas lieu de s'étonner qu'un même plan d'alimentation puisse donner des résultats divergents dans des conditions de milieu extrêmes, qu'il s'agisse du mode d'habitat ou de l'influence saisonnière (apport insuffisant sous l'effet du froid hivernal, consommation insuffisante lors des pointes de chaleur estivales).

TABLEAU 17
PROPOSITIONS DE RECOMMANDATIONS MOYENNES D'APPORT ENERGETIQUE
POUR LES PORCS FEMELLES ET MALES CASTRES EN CROISSANCE-FINITION

POIDS VIF, kg	Sexe (1)	20	30	40	50	60	70	80-100	GAIN MOY./j, g		RAPPORT LONGE /BARDIERE
									20 - 60	60-100 kg	
ED, Mcal/j	F						8,8	9,2	600-650	700-750 650-700	2,4 - 2,5 2,0 - 2,3
	MC	3,6	4,6	5,7	6,8	8,0	8,0	8,0			
Aliment à base de maïs, kg/j (2)	F						2,6	2,8			
	MC	1,1	1,4	1,7	2,0	2,4	2,4	2,4			
Aliment à base d'orge, kg/j (2)	F						2,9	3,0			
	MC	1,2	1,5	1,9	2,2	2,6	2,6	2,6			

(1) F : Femelles ; MC : Mâles castrés.

(2) Aliment à 87 % de matière sèche et renfermant 3,35 et 3,05 Mcal ED/kg respectivement avec le maïs et l'orge, en association avec le tourteau de soja.

III - ALIMENTATION ENERGETIQUE DE LA TRUIE

A la différence du jeune porc, pour lequel la croissance est un phénomène continu et progressif, la carrière de la truie est caractérisée par une succession de phases discontinues de production plus ou moins intense et de repos, marquées par l'alternance de déplétion et de réplétion des réserves corporelles. Ainsi peut-on expliquer que les connaissances actuelles sur le métabolisme énergétique de la truie restent encore fragmentaires, voire même parfois contradictoires.

A - Particularités du métabolisme énergétique chez la truie reproductrice

La gestation reste encore la période qui, du point de vue de l'alimentation, est la plus étudiée du cycle de reproduction. Ceci tient sans doute au fait que l'approche des besoins nutritionnels en est directe, tandis que la lactation, soumise à davantage de facteurs de variation dépendant de l'animal lui-même ou des techniques d'élevage, ne peut être envisagée indépendamment des événements antérieurs à la parturition.

1. Nature des besoins en énergie

Le besoin énergétique total de la truie résulte d'un ensemble de besoins particuliers : entretien et activité physique comme pour l'animal non reproducteur, croissance intra et extra-utérine pendant la gestation, production du lait au cours de la lactation.

1.1. Pendant la gestation

Des travaux déjà anciens de SALMON-LEGAGNEUR et JACQUOT (1961) ou de LODGE et al. (1961) ont permis de mettre en évidence l'anabolisme gravidique sur des truies multipares : lorsque l'on compare des truies gravides ou non gravides de même poids initial, soumises à un régime alimentaire identique, les premières réalisent, outre leur portée, un gain de poids propre qui est supérieur à celui des femelles vides. L'existence de ce phénomène implique que le besoin d'entretien de l'animal gravide est abaissé ou que les dépôts extra-utérins sont élaborés avec un rendement supérieur pendant la gestation, vraisemblablement en relation avec un

équilibre hormonal différent. Ceci explique que, dans les conditions d'alimentation libérale qui prévalaient à cette époque, la part des nutriments déposés dans l'utérus restait modique en regard des réserves édifiées par la mère (tableau 18). Compte tenu de la priorité de la fonction de reproduction par rapport à la croissance maternelle mise en évidence par ailleurs, une réduction importante des normes alimentaires a été préconisée. C'est ainsi qu'entre 1964 et 1968, l'évaluation des besoins énergétiques de gestation par le NRC est passée de 9,8 à 6,6 Mcal d'ED/jour.

TABLEAU 18
REPARTITION DE L'ENERGIE FIXEE AU COURS DE LA GESTATION
(SALMON-LEGAGNEUR, 1965)

	ENERGIE FIXEE	
	Mcal	% TOTAL
Tissus maternels	155	91,7
Contenus utérins	14	8,3
TOTAL	169	100,0

Diverses remarques viennent cependant nuancer les observations précédentes, en particulier chez les truies nullipares. Si l'on constate effectivement que les protéines sont déposées avec un meilleur rendement chez la femelle gravide (augmentation du coefficient de rétention azotée avec l'avancement de la gestation), il en va différemment pour l'énergie. Des dissections effectuées sur des truies à plusieurs stades de gestation montrent qu'à un dépôt initial important de lipides succède, dès le milieu de la gestation, une mobilisation des réserves adipeuses qui va en s'accroissant jusqu'à la parturition (SALMON-LEGAGNEUR, 1965). Ceci a été confirmé plus récemment au plan métabolique par ETIENNE et HENRY (1973) qui montrent, pour plusieurs niveaux d'apports énergétiques, une diminution de l'intensité de la synthèse *in vitro* des lipides dans le tissu adipeux maternel entre le début et la fin de la gestation (tableau 19). De plus, l'énergie ingérée apparaît comme facteur limitant non seulement de la lipogénèse au début de la gestation, mais aussi de la rétention azotée avant la parturition. A partir d'analyses effectuées dans les différents compartiments corporels de truies nullipares gravides ou vides qui ont été soumises au même traitement nutritionnel, DE WILDE et al. (1973) concluent à l'absence d'anabolisme gravidique chez ces animaux, tout au moins en ce qui concerne l'énergie. La part de l'énergie fixée sous forme de graisse dans la carcasse chez les femelles gravides ne représente que 72,1 % contre 80,5 % chez les animaux témoins. Le contenu énergétique de l'organisme est lui-même inférieur chez les premières (469 contre 492 Mcal), si l'on ne tient pas compte des contenus utérins qui représentent environ 11 Mcal. On peut également signaler, que du simple point de vue pondéral, l'anabolisme gravidique n'est pas retrouvé par HOVELL et Mac PHERSON (1974) sur des truies nullipares.

TABLEAU 19
INTENSITE DE LA LIPOGENESE DANS LE TISSU ADIPEUX SOUS-CUTANE
DE LA TRUIE ESTIMEE IN VITRO
(EN NANOMOLES DE GLUCOSE TRANSFORME EN LIPIDES/2H D'INCUBATION)
(ETIENNE et HENRY, 1973)

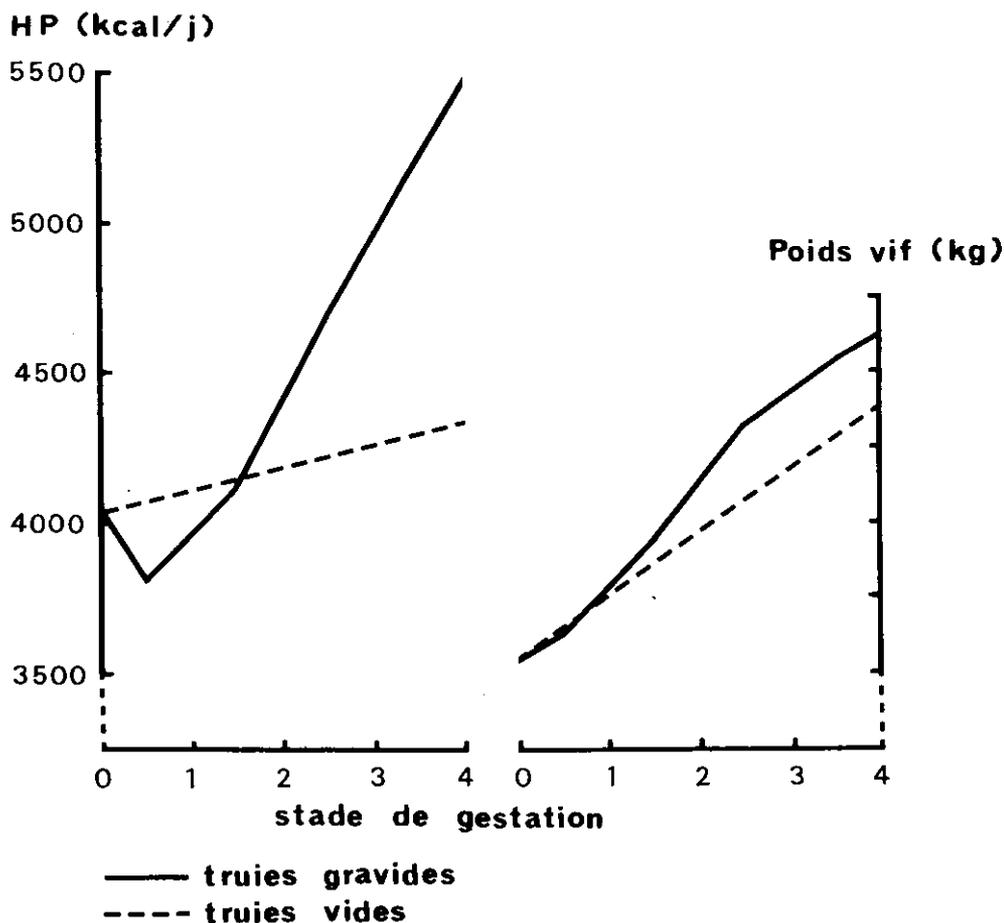
APPORT QUOTIDIEN D'ENERGIE (Mcal ED)			
	5,87	6,39	9,20
STADE DE GESTATION (j)			
26	31,3	34,3	97,7
108	28,9	23,2	27,4

L'origine de la réduction du dépôt d'énergie chez les truies gravides a été attribuée aux besoins propres de la portée *in utero*. BRODY (1938) a mis en évidence une augmentation de la production d'extrachaleur pendant la gestation et relié cet accroissement (Q, en kcal) au poids des nouveau-nés à la parturition (P, en kg) : $Q = 4400 P^{1/2}$. La précision de cette équation établie en prenant en compte diverses espèces animales, allant de la rate à la jument, peut être mise en doute lorsqu'on cherche à l'appliquer à une espèce particulière. Elle exprime néanmoins un phénomène réel démontré dans le cas de la truie (figure 4) et le relie directement aux foetus. Il faut noter que le poids de ces derniers intervient à la puissance 1,2 : ceci tendrait à prouver que le coût énergétique de leur entretien et de leur croissance augmente plus vite que le poids de la portée à la naissance. Il en résulterait donc une pénalisation plus importante chez les truies les plus prolifiques. L'augmentation de la production d'extrachaleur chez la truie gravide a été vérifiée plus récemment par VERSTEGEN et al. (1971) à partir de bilans effectués en chambres respiratoires. Elle s'accroît progressivement de 300 à 900 kcal/jour entre 12 semaines de gestation et la parturition, et se traduit par une diminution des réserves adipeuses de la mère, tandis que le dépôt de protéines n'est pas affecté.

FIGURE 4

PRODUCTION DE CHALEUR ET EVOLUTION DU POIDS VIF
CHEZ DES TRUIES GRAVIDES OU NON GRAVIDES

(moyenne de 6 femelles Duroc-Jersey, d'après BRODY, 1938)



L'anabolisme gravidique ne semble donc pas exister pour l'énergie chez les truies nullipares dans les conditions nutritionnelles actuelles. Peut-être est-il masqué par la croissance qui se poursuit chez ces animaux, mais il convient de s'assurer qu'il en va différemment chez les femelles multipares. Quoi qu'il en soit, le métabolisme de l'énergie pendant la gestation se caractérise par une augmentation de l'extrachaleur, qui paraît liée à l'édification de la portée et s'accompagne d'une fonte des réserves lipidiques.

1.2. Pendant la lactation

La lactation est considérée, sur le plan des besoins, comme une période coûteuse en raison de l'importance de la production de lait. Celle-ci varie en fonction de divers facteurs : elle augmente notablement entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lactation, ainsi qu'avec le nombre de porcelets allaités. Elle évolue après la mise bas, le maximum de la courbe étant en général atteint entre la 3^e et la 4^e semaine. A partir des estimations de différents auteurs, rassemblées par ELSLEY (1971a), la production moyenne journalière est comprise entre 5 et 7,5 kg de lait. La truie exporte donc une quantité de lait largement supérieure à son propre poids pendant une lactation de 35 jours. A partir de déterminations directes sur 100 échantillons, nous avons estimé à 1061 ± 101 kcal/kg le contenu énergétique du lait pour une teneur de 18 p. 100 de matière sèche (ETIENNE et al., 1975, 1976) contre 750 kcal pour le lait de vache à 12 p. 100 de matière sèche (VERMOREL, 1977). Le lait produit correspond donc à une exportation quotidienne de 6000 à 8000 kcal.

L'importance de cette production est telle qu'en général la truie ne consomme pas suffisamment d'aliment pour couvrir ses besoins et subit une perte pondérale entre la parturition et le sevrage. SALMON-LEGAGNEUR (1965) attribue la diminution de poids surtout à une fonte des tissus adipeux et musculaires, et accessoirement à la réduction du volume sanguin ainsi qu'à la régression de l'utérus. La contribution relative des différents tissus n'a pas été clairement établie. D'après VANSCHOUBROEK et EMBO (1962), les réserves grasses interviendraient pour 50 p. 100 dans la variation de poids. En réalité, cela dépend des apports nutritionnels : ETIENNE et al. (1975) montrent que des truies multipares ingérant quotidiennement 700 g de protéines et 15,35 Mcal d'énergie digestible, allaitant 8,8 porcelets, perdent 27 kg de poids vif malgré un bilan azoté moyen nul pendant une lactation de 35 jours. Un résultat analogue est retrouvé sur des truies moins productives (ETIENNE et al., 1976) qui, avec les mêmes apports, ont un bilan azoté positif de + 11 g/jour, et perdent 11 kg en 5 semaines. Dans les deux cas, c'est certainement le compartiment lipidique qui a principalement été atteint dans la réduction de poids des femelles. Ces exemples illustrent de plus que s'il paraît relativement facile de couvrir les besoins azotés des truies en lactation, il n'en va pas de même pour l'énergie, en raison des limites de l'appétit des animaux. Mais peut-être les réserves tissulaires jouent-elles aussi un rôle particulier dans la synthèse du lait. Les études portant sur l'utilisation de l'acide linoléique, non synthétisé par la truie, comme marqueur de lipides (SALMON-LEGAGNEUR, 1965) ont montré que les graisses catabolisées pendant la lactation étaient celles là même qui avaient été mises en réserve durant la gestation précédente, et que les acides gras stockés étaient incorporés directement dans les lipides du lait. Ceci confirme l'existence d'interactions entre la gestation et la lactation en matière de nutrition des truies. Si la parturition constitue une coupure au plan physiologique, il n'en va pas de même en ce qui concerne le métabolisme énergétique : les besoins en énergie augmentent entre la saillie et le sevrage, au point d'entraîner dès le milieu de la gestation une diminution des réserves grasses de la truie qui va en s'accroissant jusqu'à la fin de la lactation.

2. Coût énergétique des productions

La digestibilité apparente de l'énergie des aliments chez la truie paraît plus élevée que chez le porc en croissance. Ceci est sans doute en relation avec la meilleure utilisation des constituants celluloseux par l'animal âgé (HENRY et ETIENNE, 1969). Ainsi, les rafles de maïs, dont la valeur énergétique est apparemment nulle pour le jeune porc (BOENKER et al., 1969), ont une teneur de 1900 kcal ED/kg de matière sèche chez la truie (ETIENNE et HENRY, 1973). De la même façon, des résultats non publiés de SALMON-LEGAGNEUR font état d'une teneur en ED des céréales supérieure de 5 à 10 % pour la truie en comparaison de l'animal en croissance. En revanche, comme il a été signalé précédemment, le rapport EM/ED est certainement plus faible chez la truie en raison des pertes d'énergie plus élevées sous forme de méthane, et vraisemblablement sous forme de chaleur de fermentation, surtout dans le cas de rations riches en substances celluloseux. En conséquence, la supériorité de la truie sur le plan de la digestibilité risque de ne plus se retrouver au niveau de l'EM.

Sur le plan de l'utilisation métabolique de l'énergie chez la truie, la détermination du coût de la formation des embryons et de la production laitière a fait l'objet de quelques études déjà anciennes. Cependant, dans aucune d'entre elles, on ne procède à des estimations directes de l'énergie fixée par la méthode des abattages comparés à différents stades physiologiques, ni à la mesure de la production de chaleur au cours des diverses phases du cycle de reproduction. Aussi, l'une des principales difficultés réside dans l'ignorance de la nature et de la teneur en énergie des tissus concernés par les variations de poids des truies. Pendant la lactation, l'imprécision dans la détermination de la production et de la composition du lait constituent une difficulté supplémentaire, ces mesures ne pouvant être effectuées que de façon périodique.

MOUSTGAARD (1959) calcule les besoins énergétiques pour la formation des produits de la conception par addition de l'énergie déposée *in utero* et de l'augmentation de la production de chaleur liée à la gestation estimée à partir de l'équation de BRODY (1938). Le rendement de l'utilisation de l'EM pour l'entretien et le développement des contenus utérins s'accroît de 11 à 22 % avec l'avancement de la gestation. Ces faibles valeurs s'expliquent par le fait que l'augmentation de l'extrachaleur est attribuée en totalité aux foetus, et non en partie au coût de l'entretien de la mère qui pourrait s'élever, compte tenu de l'accroissement de l'importance relative des tissus maigres ou de ses propres synthèses tissulaires (développement de l'utérus et des glandes mammaires). Elles restent néanmoins proches des résultats obtenus sur les bovins et les ovins.

SMITH (1959, a,b) estime à 40 à 53 % l'efficacité globale de l'énergie métabolisable pour la production du lait et l'entretien en supposant la teneur en énergie des tissus catabolisés pendant la lactation égale à 7,3 kcal/g. Mais les valeurs d'efficacité nette présentent plus d'intérêt puisqu'elle ne concernent que la production en cause, sans tenir compte du rendement pour l'entretien de la mère. De telles mesures ont été faites sur des truies maintenues en cages à bilan, en ne considérant que les périodes au cours desquelles leur poids vif restait constant, après déduction du besoin énergétique d'entretien à partir des données d'autres auteurs. LODGE (1957) obtient une valeur de 88 %, tandis que GÜTTE et LENKEIT (1960) aboutissent à un rendement net de 80,4 % au cours de périodes plus longues, mais en estimant la production d'énergie dans le lait de façon indirecte à partir de la croissance des porcelets. De même, en reprenant les mesures de PIELOK (1952) réalisées pendant deux lactations, les auteurs précédents calculent un rendement de 81,2 %. La valeur du rendement de l'EM pour la production du lait plus élevée chez la truie que chez la vache laitière (54 à 68 %) est logique en raison, notamment, de l'incorporation directe des acides gras de l'aliment et des graisses de réserve dans les lipides du lait. Les valeurs obtenues ne sont toutefois qu'indicatives : le besoin d'entretien et la production d'énergie dans le lait sont estimés, et le maintien des animaux à poids constant n'implique pas que leur composition corporelle n'ait pas été modifiée.

On peut signaler enfin que des mesures du rendement global de l'utilisation de l'EM durant tout le cycle de reproduction pour le dépôt d'énergie chez les porcelets jusqu'au sevrage à 8 semaines ont été effectuées par SMITH (1960 a,b) et BOWLAND (1967). Les valeurs obtenues par les deux auteurs sont comprises entre 11 et 15 %. Pour SMITH, l'efficacité est meilleure lorsque les apports aux truies gestantes sont plus faibles, ce qui paraît logique dans la mesure où le rendement de l'utilisation de l'EM pour la production de lait est plus élevé que pour les dépôts corporels extra-utérins.

Si l'on veut déterminer les besoins des truies au cours du cycle de reproduction, il est important de connaître avec précision l'utilisation de l'énergie chez ce type d'animal. Des tentatives ont été faites dans ce sens, qui indiquent en particulier un rendement élevé de l'EM pour la production de lait. Cependant, trop d'incertitudes persistent encore sur ces valeurs pour que l'on puisse se baser sur elles dans l'établissement de normes. Il conviendra donc de les préciser à l'avenir.

3. Essais de détermination du besoin énergétique des truies reproductrices par la méthode factorielle

L'estimation du besoin énergétique par la méthode factorielle à partir des différents éléments du besoin a fait l'objet de quelques tentatives chez la truie. Les travaux de VANSCHOUBROEK et VAN SPAENDONCK (1973) et de SCHNEIDER et BRONSCH (1977), utilisant cette méthode, ne portent que sur la période de gestation. Dans l'état actuel des connaissances, il est en effet difficile d'envisager d'étendre ce type de calcul à la lactation.

Peu de différences existent entre les deux rapports précédemment cités pour ce qui concerne les bases d'établissement du besoin énergétique, si ce n'est le mode d'expression choisi : énergie nette pour le premier (NEF) ou énergie métabolisable pour le second ("Gesamtnährstoff" : GN, très proche des TDN). Le mode de calcul est intéressant à considérer, car il permet de souligner le manque de références précises sur le métabolisme énergétique des truies. Faute de résultats suffisamment fondés sur des truies lourdes, les auteurs estiment le besoin d'entretien à partir de l'équation de NEHRING (1969) établie sur des mâles castrés de 75 à 190 kg de poids vif, bien qu'il existe certainement des écarts sur ce point entre les deux catégories d'animaux, compte tenu des différences de composition tissulaire et d'équilibre hormonal. Le besoin d'activité est estimé de 10 à 20 % du besoin d'entretien. L'énergie déposée dans l'utérus est calculée à partir de la formule de DE VILLIERS et al. (1958) : $E \text{ (kcal)} = 12,0 \cdot e^{0,032 t}$, où E représente le dépôt quotidien d'énergie, et t le stade de gestation exprimé en jours. En ce qui concerne les dépôts d'énergie extra-utérins, seules les données de DE WILDE et al. (1973) permettent de les estimer à 3,6 kcal/g déposé (soit la moitié de la valeur donnée par SMITH, 1960 a), dans

les conditions particulières des truies nullipares. De plus, en l'absence de détermination du rendement d'utilisation de l'EM pour les dépôts intra et extra-utérins, SCHNEIDER et BRONSCH (1977) sont amenés à utiliser les valeurs établies par THORBEEK (1975) sur le porc en croissance, aussi bien pour le développement foetal que pour les gains corporels propres de la truie. L'augmentation de la production de chaleur en fin de gestation est estimée à partir des mesures effectuées en chambre respiratoire par VERSTEGEN et al. (1971), qui ne portent encore que sur un nombre limité d'animaux et de périodes d'observation. Ainsi, les valeurs retenues représentent 5 à 25 % du besoin d'entretien suivant les auteurs et le stade de gestation.

L'application de ces éléments de calcul à des modèles dont on fixe le poids vif, la vitesse de croissance extra-utérine et la taille de la portée permet de formuler une estimation des besoins énergétiques totaux. Un exemple en est fourni au tableau 20. Bien que les hypothèses initiales soient comparables, il existe des écarts entre les auteurs qui s'expliquent par des différences dans les rythmes de croissance, et dans la répartition des dépenses d'activité et d'extrachaleur de gestation en fonction du stade. Malgré l'intérêt théorique présenté par l'estimation factorielle du besoin, il semble prématuré de l'utiliser comme base d'établissement des normes énergétiques des truies reproductrices. Dans l'état actuel de nos connaissances, elle repose en effet sur beaucoup trop d'hypothèses, d'approximations ou d'études fragmentaires. Ceci souligne à nouveau le besoin de références précises à obtenir dans des conditions variées sur le métabolisme énergétique de la truie.

TABLEAU 20

BESOIN EN ENERGIE DIGESTIBLE (1) DES TRUIES GRAVIDES
CALCULE PAR LA METHODE FACTORIELLE, A PARTIR DE VANSCHOU BROEK et VAN SPAENDONCK (1973)
et SCHNEIDER et BRONSCH (1977).

Hypothèses concernant le modèle	Numéro de portée	1	3	5
	Poids à la saillie (kg)	115	155	165
	Gain de gestation (kg)	50	45	35
	Taille de la portée	10	12	12
Besoin en énergie digestible (kcal/jour)	A partir de VANSCHOU BROEK et VAN SPAENDONCK	6300	6750	6400
	D'après SCHNEIDER et BRONSCH	6200	6500	6100

(1) en supposant 1 KE_s équivalent à 3100 kcal ED; EM = 0,96 ED.

B - Apport énergétique et performances de reproduction des truies

Si les connaissances sur le métabolisme énergétique des truies demeurent partielles, de nombreuses expériences utilisant des lots plus ou moins importants d'animaux ont été faites dans le but de rechercher l'influence de l'apport d'énergie aux truies sur leurs performances de reproduction. Les conséquences générales ont été souvent décrites (RERAT et DUEE, 1976) et font ressortir la grande sensibilité de la mère par rapport à sa portée aux variations des apports nutritionnels.

Il nous a paru intéressant de quantifier les effets du niveau d'ingestion d'énergie chez la truie à partir des résultats obtenus par les différents auteurs. Dans ce but, nous avons rassemblé les données acquises à l'occasion d'études dans lesquelles les truies sont soumises à différents apports d'énergie dans l'aliment. Nous n'avons pris en considération que les expériences comportant un effectif minimal de 10 truies par lot, et où le niveau d'ingestion d'énergie digestible quotidien, qui restait constant durant la phase du cycle de reproduction considérée, pouvait être calculé. Un travail analogue a été effectué par VANSCHOU BROEK et VAN SPAENDONCK (1973) puis par VAN SPAENDONCK (1977). Mais ces auteurs se sont limités à l'animal en gestation, sans tenir compte des différences pouvant exister entre les truies en fonction de leur numéro de portée. Aussi avons-nous pris en compte les variations du niveau d'ingestion d'énergie pendant la lactation. De plus, lorsque les résultats obtenus au cours de chaque cycle de reproduction étaient présentés, nous avons distingué les truies primipares des femelles multipares dans la mesure où le nombre de données disponibles pour le critère pris en considération permettait de le faire.

Le présent travail fait appel à 29 expériences regroupant 78 lots de truies mettant bas entre une et quatre fois. Plus de 5000 cycles de reproduction sont ainsi étudiés. Les critères retenus concernent les variations

pondérales des truies, leur prolificité, la viabilité et la croissance des porcelets ou des portées jusqu'au sevrage. Les relations entre ces critères et l'ingestion d'énergie digestible par les truies sont recherchées par analyse de régression linéaire, curvilinéaire (2e degré) ou polynomiale, en considérant les résultats moyens obtenus au cours de chaque cycle de reproduction dans chacun des lots comparés comme une donnée individuelle. Les équations de régression ainsi établies sont regroupées dans les tableaux 21 et 22 pour ce qui concerne respectivement les niveaux énergétiques de gestation et de lactation.

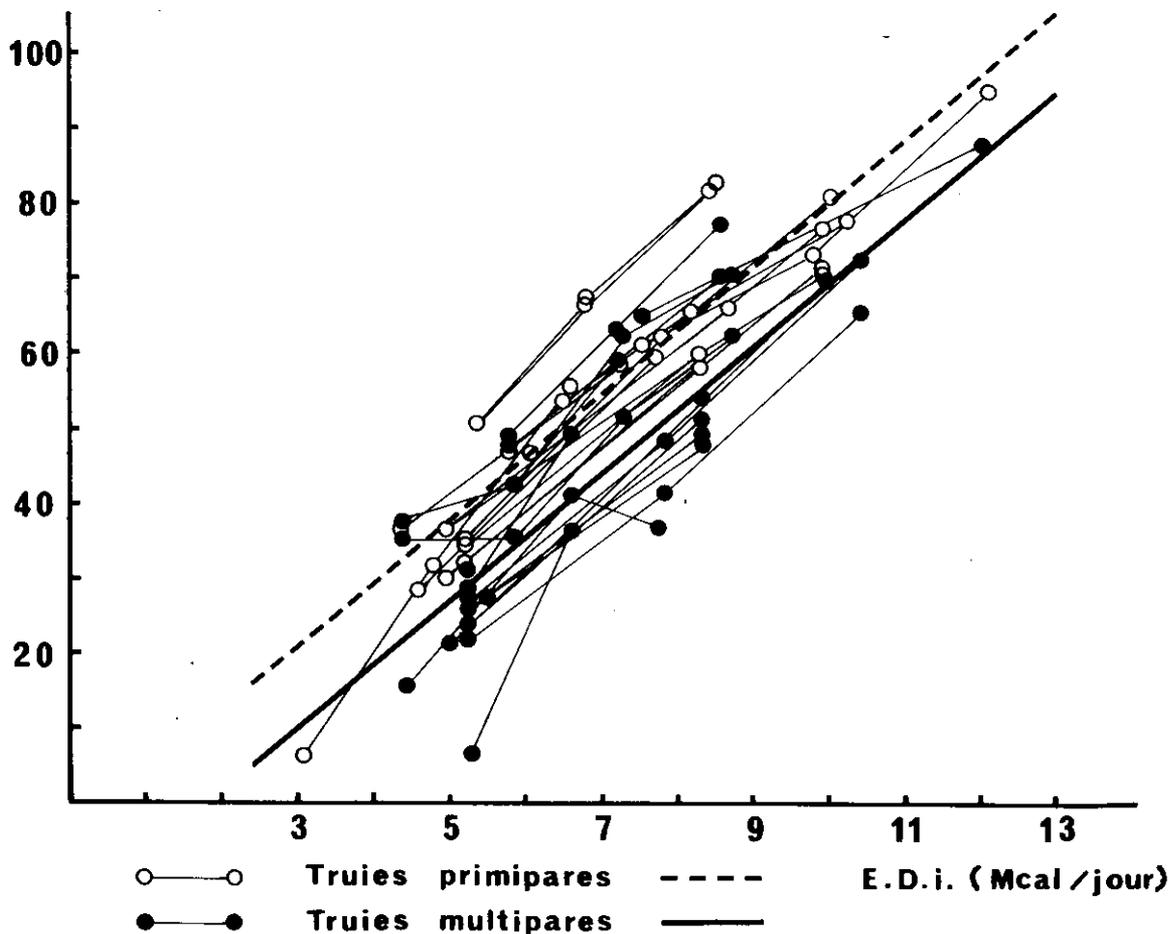
1. Niveau d'ingestion d'énergie digestible pendant la gestation et variations pondérales des truies avant la parturition (tableau 21)

Le gain total de gestation, égal à la différence de poids des truies entre la saillie et la veille de la parturition, est corrélé de façon très hautement significative avec le niveau d'ingestion quotidien d'ED. Dans le cas des truies primipares, la régression est significative au second degré, ce qui pourrait être en relation avec une plus grande teneur en lipides du croît pour les apports alimentaires les plus élevés. Bien que l'amélioration apportée par le terme du second degré soit significative, la part de la variation expliquée par la régression n'est augmentée que de 3 % par rapport au 1er degré. Pour les truies multipares, seule la régression linéaire est significative.

Les coefficients de corrélation entre la consommation d'énergie digestible et le gain total de gestation sont très élevés, de l'ordre de 0,9, étant entendu qu'ils se rapportent à des animaux qui diffèrent à de nombreux points de vue : race ou type de croisement, lieu, époque et durée de l'expérience, alimentation, techniques d'élevage. Ceci montre que l'énergie ingérée constitue le facteur principal qui détermine le gain de poids de la truie, et que la réponse de ce critère aux variations des apports d'énergie est relativement homogène entre les femelles. Les droites de régression obtenues pour les deux catégories d'animaux (figure 5) ont la même pente, mais diffèrent ($P < 0,001$) par leur ordonnée à l'origine.

FIGURE 5 — GAIN TOTAL DE GESTATION EN FONCTION DE L'E.D. INGEREE

Gain total de gestation (kg)



Il est donc possible de conclure que le gain de poids total de gestation des truies augmente en moyenne de 8,4 kg pour un accroissement de 1 Mcal ED/jour, quel que soit leur numéro de portée ($r = 0,91$). Par contre, à niveau d'ingestion égal, le gain total de gestation est supérieur de 10 kg chez les truies primipares par rapport aux multipares, ce qui peut s'expliquer par un besoin d'entretien plus faible chez les premières (poids vif moindre) et par une composition du croît différente.

Les observations faites dans le cas du gain total peuvent également s'appliquer au gain net de gestation, qui représente le gain de poids propre à la truie. Il existe en effet une relation linéaire entre le gain net et le niveau d'ingestion d'ED des truies, qu'il s'agisse des animaux primipares ou multipares. La corrélation est élevée ($r = 0,88$) et indique l'importance de la liaison ainsi trouvée. Enfin, les droites de régression se distinguent de la même façon que précédemment : pour chaque accroissement de 1 Mcal d'ED ingérée chaque jour, le gain de poids net des truies augmente de 7,3 kg ; mais, pour un niveau de consommation identique, les femelles primipares réalisent une croissance propre supérieure de 9 kg à celle des truies multipares pour les mêmes raisons que celles indiquées plus haut.

La différence de comportement entre les deux catégories d'animaux explique en partie qu'on peut leur appliquer des normes énergétiques égales, puisque cela permet aux truies plus légères de poursuivre une croissance plus importante et moins coûteuse que celle des femelles multipares. Mais il reste à savoir s'il ne serait pas souhaitable d'améliorer encore le gain de poids des jeunes truies par une alimentation énergétique plus libérale.

TABLEAU 21

EQUATIONS DE REGRESSION ENTRE LE NIVEAU D'INGESTION QUOTIDIEN D'ENERGIE DIGESTIBLE PENDANT LA GESTATION (X, Mcal) ET LE CRITERE CONSIDERE (Y).

CRITERE (Y)	NUMERO DE PORTEE	EQUATION DE REGRESSION	r	SIGNIFICATION STATISTIQUE (1)
Gain de poids total de gestation (kg)	Primipares)	$Y = 40,44 + 18,88 X - 0,70 X^2$	0,89 (R ²)	***
	Multipares)	$Y = - 4,71 + 8,43 X$	0,927	***
	Multipares	$Y = - 14,96 + 8,40 X$	0,887	***
Gain de poids net de gestation (kg)	Primipares	$Y = - 13,99 + 7,76 X$	0,879	***
	Multipares	$Y = - 23,03 + 7,06 X$	0,881	***
Nombre total de porcelets nés/ portée	Primipares	—	- 0,049	NS
	Multipares	—	- 0,141	NS
Mortalité % des porcelets entre la naissance et le sevrage		—	- 0,079	NS
Poids moyen des porcelets à la naissance (kg)	Primipares	$Y = 1,140 + 0,015 X$	0,302	*
	Multipares	$Y = 1,012 + 0,037 X$	0,648	***
Poids de la portée à la naissance (kg)	Primipares	$Y = 10,44 + 0,17 X$	0,249	P < 0,10 **
	Multipares	$Y = 11,44 + 0,27 X$	0,356	
Poids moyen des porcelets au sevrage à 56 j. (kg)	Primipares	—	0,376	NS **
	Multipares	$Y = 12,74 + 0,37 X$	0,574	
Gain de poids de la portée entre la naissance et le sevrage à 56 j. (kg)	Primipares	—	0,182	NS **
	Multipares	$Y = 84,94 + 4,59 X$	0,552	
Variation de poids de la truie en lactation (kg)	Primipares	$Y = 11,88 - 3,51 X$	- 0,740	***
	Multipares	$Y = 23,44 - 4,73 X$	- 0,767	***
	(tous cycles confondus)	$Y = 18,22 - 4,17 X$	- 0,747	***

(1) NS : non significatif.

* : P < 0,05

** : P < 0,01

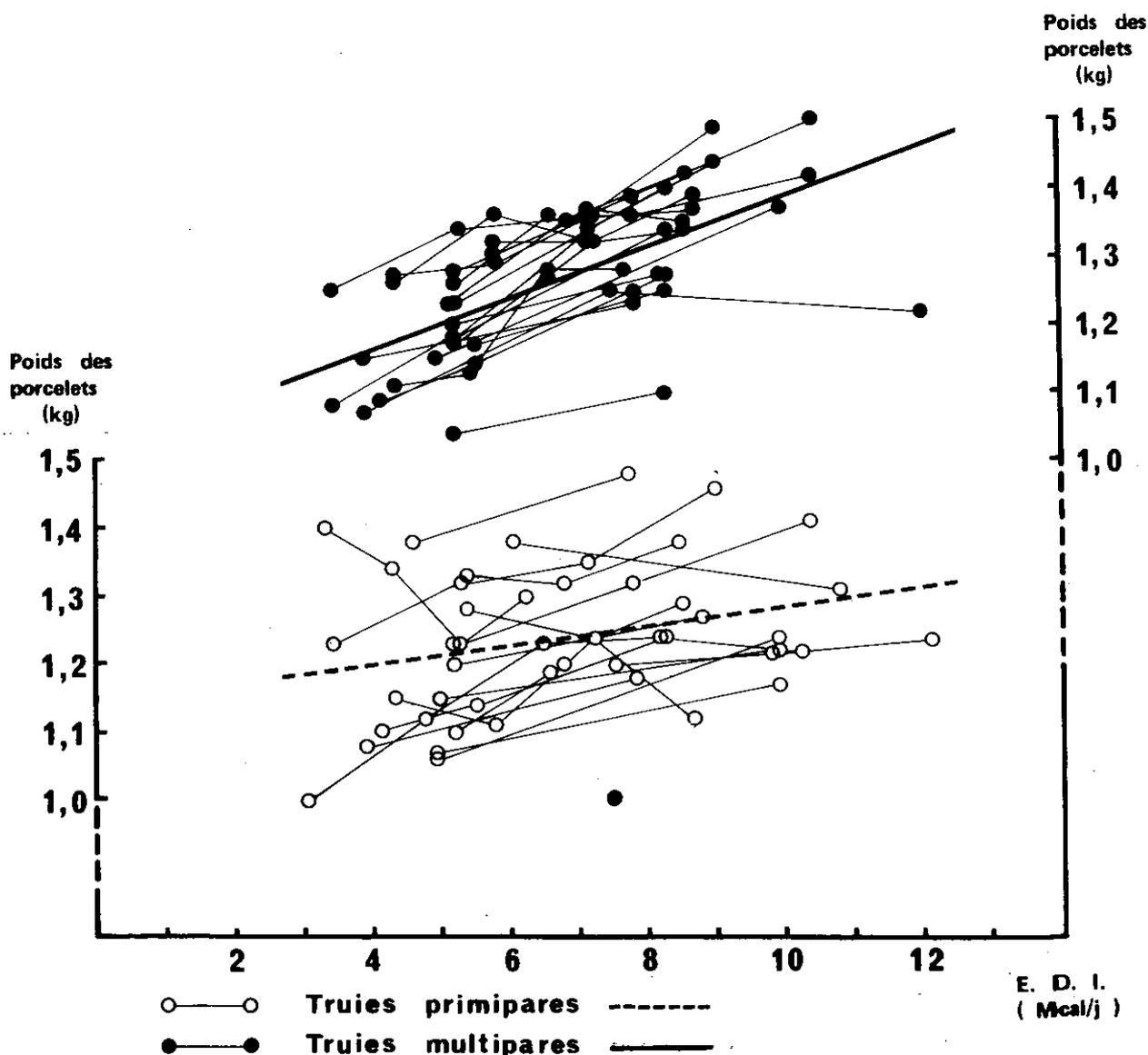
*** : P < 0,001

2. Niveau d'ingestion d'énergie digestible pendant la gestation et performances de reproduction des truies (tableau 21).

En ce qui concerne les résultats de reproduction, aucune relation ne peut être mise en évidence entre le niveau d'ingestion d'énergie en gestation et le nombre total de porcelets nés ou le nombre de porcelets vivants par portée. Il en va de même pour la mortalité postnatale des porcelets, en moyenne de 19,5 % avant le sevrage dans les expériences considérées. L'absence d'effet de la consommation d'énergie sur les effectifs d'animaux est constatée de façon générale, d'autant plus que la variabilité de ce critère est importante.

Le poids moyen des porcelets à la naissance est davantage affecté par le niveau des apports d'énergie en gestation. C'est ainsi qu'une relation linéaire positive peut être établie (figure 6). Elle diffère suivant le numéro de portée des truies : la pente de la droite est plus forte ($P < 0,05$) et la corrélation plus élevée chez les femelles multipares, montrant ainsi la plus grande sensibilité des fœtus à l'état nutritionnel de la mère pour cette catégorie d'animaux. Deux raisons peuvent expliquer cette particularité : la taille de la portée est généralement supérieure chez les truies multipares, et les exigences nutritionnelles pour le développement des fœtus sont donc plus élevées. Par ailleurs, dans les expériences sur lesquelles les calculs ont été effectués, les truies multipares étaient en général déjà soumises au même traitement pendant les cycles de reproduction antérieurs. Il se pourrait donc qu'un effet cumulatif se manifeste sur le plan de la croissance *in utero* et que celle-ci soit d'autant plus affectée par le traitement qu'il a été appliqué plus longtemps. Quoi qu'il en soit, il faut noter que, même pour les animaux les plus âgés, l'effet de la nutrition énergétique sur le poids du porcelet à la naissance reste limité (37 g/Mcal d'énergie digestible).

FIGURE 6
POIDS MOYEN DES PORCELETS A LA NAISSANCE EN FONCTION DE L'E.D. INGEREE



L'effet manifesté au niveau du porcelet est beaucoup moins net sur la portée, essentiellement à cause de la variabilité importante de l'effectif des porcelets. On retrouve cependant la différence déjà observée suivant le numéro de portée des truies : une restriction énergétique abaisse le poids de la portée chez les femelles multipares ($P < 0,001$), mais non chez les primipares ($P < 0,10$).

Les conséquences du niveau de consommation d'énergie des truies gravides sur la croissance post-natale des porcelets sont difficiles à évaluer, compte tenu des différences de durée de la lactation entre les expériences, allant de 14 à 56 jours. Dans le cas d'un sevrage effectué à 8 semaines, pour lequel le nombre de données disponibles est le plus important, on trouve une relation linéaire positive entre l'apport d'énergie aux truies pendant la gestation et le poids des porcelets au sevrage ou le gain de poids de la portée réalisé pendant la lactation. Ainsi, on peut expliquer de la sorte 18 % de la variation du poids du porcelet au sevrage. On aboutit aux mêmes conclusions pour des lactations plus courtes, quoique le nombre de données soit très faible dans ce cas. Le calcul des coefficients de corrélation partielle indique que l'effet de l'alimentation pendant la gestation sur la croissance des porcelets est essentiellement dû à leur poids supérieur à la naissance, puisqu'à poids initial identique la corrélation entre l'énergie ingérée et le poids au sevrage n'est plus significative ($r = 0,09$). On retrouve d'ailleurs au niveau du gain pondéral de la portée pendant la lactation la différence entre truies primipares et multipares déjà relevée pour le poids à la naissance, que l'on peut expliquer de la même façon que précédemment.

3. Niveau d'ingestion d'énergie digestible pendant la gestation ou la lactation et variations du poids des truies pendant la lactation (tableaux 21 et 22).

Le niveau d'ingestion d'énergie des truies en gestation influence fortement leurs variations de poids pendant la lactation, la perte pondérale étant d'autant plus élevée que la consommation était plus importante pendant la gestation ($r = -0,75$). La régression linéaire calculée chez les femelles primipares ne diffère pas de celle observée chez les multipares. Cette relation est due en grande partie au gain net de gestation des truies qui est lui-même fortement corrélé avec leurs modifications de poids en lactation ($r = -0,80$). En effet, à gain de poids net constant, la corrélation partielle entre le niveau énergétique de gestation et les variations pondérales en lactation n'est plus significative ($r = -0,15$). Ceci souligne la liaison étroite qui existe entre les réserves corporelles édifiées pendant la gestation et leur mobilisation ultérieure.

Il est également logique de trouver une forte relation entre la quantité d'énergie ingérée par les truies pendant la lactation et leurs variations pondérales au cours de la même période, les mères faisant d'autant moins appel à leurs réserves qu'elles sont alimentées de façon plus libérale.

D'autres facteurs interviennent toutefois, telle la durée de la lactation, dont l'accroissement provoque une perte de poids plus élevée de la femelle ($r = 0,47$). Aussi, d'une façon globale, l'énergie ingérée pendant la durée complète du cycle de reproduction n'intervient que pour 42 % dans les variations pondérales des truies allaitantes.

TABLEAU 22

EQUATIONS DE REGRESSION ENTRE LE NIVEAU D'INGESTION JOURNALIERE D'ENERGIE DIGESTIBLE PENDANT LA LACTATION (X, en Mcal) ET LE CRITERE CONSIDERE (Y)

CRITERE	DUREE DE LACTATION (jours)	EQUATION DE REGRESSION	r	SIGNIFICATION STATISTIQUE
Variations de poids des truies pendant la lactation (kg)	—	$Y = -41,05 + 2,04 X$	0,497	***
Poids moyen des porcelets au sevrage (kg)	56	$Y = 13,19 + 0,18 X$	0,483	*
	42	$Y = 7,97 + 0,11 X$	0,563	*
Gain de poids de la portée naissance-sevrage (kg)	56	$Y = 95,54 + 2,07 X$	0,519	*
	42	—	0,330	NS

4. Niveau d'ingestion d'énergie digestible des truies en lactation et performances de croissance des porcelets jusqu'au sevrage (tableau 22).

La consommation d'énergie par les truies allaitantes reste sans influence sur la mortalité des porcelets entre la naissance et le sevrage ($r = 0,29$, NS). Mais il est logique de penser que par le biais d'une modification de la quantité ou de la qualité du lait produit, l'énergie ingérée par la truie influence la croissance des porcelets. Cependant, le nombre d'études portant sur le niveau de consommation des truies en lactation est restreint, et les dates de sevrage sont diverses. Aussi, nous n'avons retenu, pour les calculs, que les lactations de 56 et 42 jours qui regroupent la majorité des données disponibles. Il apparaît clairement que le niveau de consommation d'énergie en lactation accroît le poids des porcelets au sevrage ou le gain de poids des portées sous la mère, 20 à 30 % des variations de croissance pouvant ainsi être expliqués. Un effet cumulatif a parfois été noté, bien que dans le cas présent il n'ait pas été possible de le mettre en évidence : selon O'GRADY et al. (1973), l'effet d'une restriction des apports d'énergie dans l'alimentation des truies en lactation sur la production ou la composition du lait et la croissance des porcelets est d'autant plus marqué qu'elle est appliquée plus longtemps.

Lorsqu'on cumule les quantités d'énergie ingérée en gestation (X_1 , en Mcal ED/jour) et en lactation (X_2 , en Mcal ED/jour), le gain de poids moyen du porcelet allaité durant 8 semaines (Y , en kg) peut s'écrire suivant l'équation :

$$Y = 8,68 + 0,35 X_1 + 0,21 X_2 \quad (R^2 = 0,39).$$

La consommation d'énergie par la truie influence donc de façon importante la croissance des porcelets, puisqu'à elle seule elle explique plus du tiers des variations enregistrées. Il faut noter que le niveau d'énergie pendant la gestation est au moins aussi important que pendant la lactation pour le développement des porcelets jusqu'au sevrage. Bien entendu, d'autres facteurs interviennent, en particulier l'aliment consommé directement par les jeunes animaux. Cependant, si un aliment complémentaire est bien distribué dans la plupart des essais considérés, les quantités consommées sont rarement relevées.

Dans le cadre de cette étude, nous avons mis en évidence l'existence de relations linéaires entre l'énergie digestible ingérée par les truies gravides ou allaitantes et la plupart des critères de reproduction retenus. Sauf pour le gain total de gestation des truies primipares, la régression curvilinéaire n'est pas significative, la variation résiduelle n'étant pas diminuée par rapport à l'équation du 1er degré. Les critères de reproduction des truies peuvent être classés en 3 catégories d'après leur dépendance vis-à-vis de l'énergie ingérée :

- Les variations de poids des truies qui sont expliquées pour 77 à 86 % par le niveau énergétique de gestation et, dans une moindre mesure, par les apports de lactation (25 à 55 %).
- Le poids des porcelets à la naissance et leur croissance dont 11 à 40 % des variations dépendent de l'alimentation énergétique maternelle.
- Les effectifs et la viabilité des porcelets pour lesquels aucune liaison avec la nutrition de la truie n'a pu être mise en évidence.

Par ailleurs, les truies paraissent avoir un comportement différent selon leur numéro de portée : pour des apports énergétiques identiques, les truies primipares réalisent un gain de poids total ou net pendant la gestation supérieur aux multipares, essentiellement en relation avec leur besoin d'entretien plus faible et vraisemblablement un contenu énergétique du croît moins élevé. Il semble également que les femelles multipares soient plus sensibles à une restriction énergétique que les animaux nullipares qui sont moins productifs. De plus, l'effet d'une telle restriction sur le poids et la croissance des porcelets paraît d'autant plus marqué qu'elle est appliquée plus longtemps. Il est certain que la nutrition énergétique de la truie peut avoir d'autres conséquences. Ainsi, nous avons montré que l'alimentation pendant la lactation conditionnait dans une faible mesure la durée de l'intervalle sevrage-fécondation et que la nutrition de la truie durant cet intervalle n'était pas sans effet sur la prolificité ultérieure (ETIENNE et DUEE, 1976). Quoi qu'il en soit, les résultats de ces calculs montrent que les apports d'énergie dans l'aliment des truies gravides gardent toute leur importance contrairement à ce qui apparaît au travers des tendances qui se sont manifestées dans l'évolution des normes alimentaires au cours des dernières années.

C - Recommandations

Dans le tableau 23 figurent quelques exemples de recommandations minimales faites dans différents pays en matière d'énergie pour les truies gravides ou allaitantes. Des divergences importantes existent. En particulier, d'après SCHIEMANN et al. (1972), les besoins apparaissent plus importants pendant la gestation, et à l'inverse plus faibles après la parturition que les estimations faites dans les autres pays. Par ailleurs, les normes sont en général plus élevées pour les truies lourdes que pour les jeunes femelles.

TABLEAU 23

QUELQUES EXEMPLES DE NORMES ENERGETIQUES POUR LES TRUIES DANS LES DIFFERENTS PAYS
(en Mcal d'ED/jour) : MOYENNES POUR DIFFERENTES GAMMES DE POIDS DES TRUIES

AUTORITE OU AUTEURS	GESTATION (MOYENNE QUOTIDIENNE)		LACTATION (10 PORCELETS/PORTEE)	
	PRIMIPARES	MULTIPARES	PRIMIPARES	MULTIPARES
SALMON-LEGAGNEUR, 1962 (1)	5,7	6,2 à 7,8	16,4	18,0 à 20,8
ARC, 1967 (GB)	5,5	6,2 à 7,8	18,3	19,8 à 21,3
NRC, 1973 (USA)	6,6	6,6	16,5	18,2
SCHIEMANN, 1972 (DDR) (2)	7,0	7,7 à 8,7	13,2	16,0 à 17,0
RERAT et DUEE (1976)	6,6	6,6	—	—

(1) En prenant pour base de calcul : 1 UF équivalent à 3 100 kcal ED

(2) " " " " 1 NEF " 1,48 kcal ED

Ceci pose le problème des critères qui ont servi à l'établissement de ces normes. Les connaissances théoriques sur le métabolisme énergétique de la truie reproductrice sont encore beaucoup trop fragmentaires et reposent sur un faible nombre de mesures souvent faites dans des conditions critiquables. Ainsi, l'estimation du besoin en énergie des truies en lactation établie par SCHIEMANN et al. (1972) est basée sur un rendement de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour la production laitière de 80 %, ce qui explique les recommandations relativement faibles qui sont ainsi faites.

De la même façon, lorsqu'on tient compte des critères de reproduction pour apprécier le besoin en énergie des truies, on aboutit à des normes modiques pendant la gestation, et à l'inverse libérales après la parturition. Cela tient essentiellement au fait que la taille de la portée n'est pas influencée par le niveau de consommation d'énergie des truies gravides, et que celles-ci subissent en général une perte pondérale élevée pendant la lactation. Il faut cependant considérer que le génotype et bien des facteurs du milieu d'élevage, en dehors de l'apport énergétique, sont susceptibles d'influencer les performances de reproduction. C'est ce qui apparaît par exemple pour le poids moyen du porcelet à la naissance dont 60 % de la variation n'est pas expliqué par l'alimentation énergétique de la mère d'après les calculs faits précédemment. Aussi, ELSLEY (1971 b) considère que les variations pondérales des truies permettent de mieux caractériser l'efficacité du système d'alimentation qui leur est appliqué que les autres critères de reproduction, en raison de leur plus grande sensibilité aux modifications de l'environnement, nutritionnel en particulier. Cet auteur propose comme objectif un gain de poids de 12 à 15 kg par cycle, ce qui correspond à un gain net de gestation de 30 kg. Si l'on se réfère aux régressions mises en évidence plus haut, on aboutit ainsi à un apport quotidien de 7,5 Mcal d'énergie digestible aux truies multipares gravides. Ceci nous paraît davantage correspondre à la réalité que les normes les plus faibles du tableau 23, autres que celles de SCHIEMANN (1972), en raison de l'observation de plus en plus fréquente de difficultés de reproduction. Il en est ainsi du syndrome de la truie cachectique qui se manifeste sur des femelles particulièrement amaigries à l'issue de la lactation, et dont les pertes de poids s'accroissent encore après le sevrage, sans qu'une élévation du niveau d'alimentation permette de pallier le phénomène. Les conséquences en sont une moindre fécondité des animaux (Mac LEAN, 1969), et parfois même la mort. Bien que Mac PHERSON et al. (1973) ne parviennent pas à reproduire ce syndrome par une restriction alimentaire sévère, on peut penser qu'un rationnement trop strict, tel qu'il est parfois pratiqué, puisse augmenter la fréquence des truies maigres, particulièrement si elles sont très productives et soumises à des conditions d'environnement défavorables. Ainsi, LIBAL (1974) est conduit à éliminer des truies émaciées ayant de mauvais résultats de reproduction dans les lots soumis aux apports d'énergie les plus faibles pendant la gestation (3 et 5 Mcal d'EM/jour) lorsque les essais sont conduits en hiver. Par contre, cela ne se produit pas en été. Ces quelques remarques soulignent l'importance de la nutrition de la truie gravide,

dont les réserves sont mises à profit pendant la lactation en complément de l'alimentation et contribuent à améliorer la croissance des porcelets.

Après la parturition, la consommation spontanée d'énergie par la truie ne paraît pas suffire aux besoins. La perte de poids maternelle résulte donc de cet écart, mais aussi de l'utilisation des réserves corporelles de gestation qui semble inévitable, particulièrement au cours des premiers jours suivant la parturition. Le raccourcissement de la lactation depuis quelques années contribue certainement à moduler les normes. En effet, le besoin global de lactation est d'autant plus faible que le sevrage est plus précoce. Cependant, la production laitière est en moyenne plus élevée pendant le 1er mois de lactation que par la suite, alors que la consommation spontanée d'aliment par la truie n'augmente que progressivement pour atteindre un plateau après la 1ère semaine suivant la mise bas. De plus, il faut tenir compte de la possibilité d'effets cumulatifs sur le plan de la croissance de la portée dans le cas de truies trop rationnées en énergie, tant en lactation qu'en gestation. Dès lors, une alimentation à volonté peut être préconisée pour les courtes lactations, tout au moins dans le cas d'animaux productifs sur le plan de la taille de la portée et de la vitesse de croissance des porcelets.

En définitive, un apport quotidien de l'ordre de 7,5 Mcal d'énergie digestible nous paraît correspondre aux besoins des truies gravides placées dans leur milieu d'élevage. Les besoins énergétiques peuvent être considérés comme équivalents pour toutes les femelles, compte tenu des besoins de croissance qui persistent chez les plus légères. De plus, il est inutile de faire varier les apports d'énergie en fonction du stade de gestation, les performances de reproduction restant identiques lorsque, pour une même quantité globale d'aliment distribué pendant la gestation, celui-ci est distribué de façon égale ou croissante à l'approche de la parturition.

Compte tenu des connaissances actuelles sur l'alimentation énergétique des truies allaitantes, l'alimentation à volonté peut être conseillée pour les femelles ayant une portée d'au moins 10 porcelets dans le cas de lactation d'une durée inférieure ou égale à 35 jours. Pour des femelles moins prolifiques ou des sevrages effectués plus tardivement, les normes énergétiques habituelles, telles celles proposées par SALMON-LEGAGNEUR (1962), peuvent être utilisées. Une teneur en énergie des aliments de 3,0 à 3,3 Mcal ED/kg, comparable à celle préconisée pour le porc en croissance, paraît convenir à la truie. Cependant, durant la gestation, compte tenu de la modicité des besoins énergétiques et de la meilleure valorisation des matières premières celluloses par l'animal âgé, il semble possible, voire peut-être même souhaitable, de distribuer à la femelle des régimes dont la concentration en énergie a été abaissée (jusqu'à 2,7 Mcal ED/kg). Il faut néanmoins souligner que les recommandations n'ont qu'une valeur indicative, et qu'il convient de les appliquer de façon souple en les adaptant aux conditions particulières qui sont rencontrées.

CONCLUSION

Dans cette revue sur l'alimentation énergétique du porc, nous avons d'abord considéré les étapes principales de l'utilisation digestive et métabolique de l'énergie. A ce propos, un certain nombre de lacunes sont apparues : difficultés d'interprétation des variations de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour la fixation des protéines corporelles, insuffisance de résultats chez la truie reproductrice. Ceci rend délicat le choix d'un système d'appréciation de la valeur énergétique nette des aliments pour le porc qui soit en conformité avec leur utilisation véritable pour le type de production considéré.

Après avoir analysé les éléments du coût énergétique des productions, qu'il s'agisse de la croissance ou de la reproduction (gestation, lactation), nous avons examiné l'influence du niveau énergétique, aussi bien qualitatif que quantitatif, sur les performances, ce qui nous a amené à formuler des recommandations d'apport énergétique pour les porcs en croissance et les reproducteurs, dans les conditions moyennes de production. Il convient de souligner ici encore l'insuffisance de données sur les variations du coût énergétique du gain et des produits, pour pouvoir moduler plus finement les apports d'énergie selon les potentialités des animaux et les contraintes liées à la production.

En raison de l'opposition inévitable entre le rendement optimal de l'utilisation de l'énergie et l'efficacité alimentaire optimale (ou réciproquement l'indice de consommation minimal) pour la production de viande maigre, l'objectif en matière d'utilisation des aliments à des fins énergétiques chez le porc doit être en définitive de réaliser un coût minimal d'énergie relativement au gain pondéral ou au poids de carcasse. C'est ce dernier, et non l'indice de consommation pondérale, qui permet la meilleure discrimination des aliments sur la base de leur valeur d'utilisation par le porc.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN C.E., THOMPSON E.H., HEGARTY P.V.J., 1974. In Proc. 27th Annual Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association, 8-27, Nat. Livestock and Meat Board éd. Chicago.
- A.R.C., 1967. The nutrient requirements of farm livestock. N° 3. Agricultural Research Council, London.
- ARMSTRONG D.G., 1969. In LENKEIT W., BREIREM K., CRASEMANN E., *Handbuch der Tierernährung*, Band 1. Allgemeine Grundlagen, 385-414, P. Parey éd., Hamburg.
- AUMAITRE A., 1965. *Alim. Vie*, 53, 160-177.
- BOENKER D.E., TRIBBLE L.F., PFANDER W.H., 1969. *J. Anim. Sci.*, 28, 615-619.
- BÖHME H., GÄDEKEN D., OSLAGE H.J., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 165-168, EAAP Pub. n° 19, G. de BUSSAC éd., Clermont-Ferrand.
- BOLET G., DESMOULIN B., SELLIER P., HENRY Y., 1977. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 9, 79-84.
- BOURDON D., HENRY Y., 1973. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 5, 115-123.
- BOURDON D., HENRY Y., 1974. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 6, 159-174.
- BOWLAND J.P., 1967. *J. Anim. Sci.*, 26, 533-539.
- BOWLAND J.P., BICKEL H., WENK C., PFIRTER H.P., SCHÜRCH A., 1970. In SCHÜRCH A., WENK C., *Energy metabolism of farm animals*, 153-156, EAAP Pub. n° 13, J. Druck éd., Zurich.
- BREIREM K., 1939. *Tierernähr.*, 11, 487-528.
- BRODY S., 1938. *Missouri Agric. Exp. Sta. Res. Bull.* n° 283.
- BURLACU G., BAIA G., TASENCO V.L., VISAN I., STOICA I., 1973. *J. Agric. Sci., Camb.*, 81, 295-302.
- BURLACU G., ILLIESCU M., STARVI J., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 181-184, EAAP Pub. n° 19, G. de BUSSAC éd., Clermont-Ferrand.
- CAMPBELL R.G., TAVERNER M., MULLANEY P.D., 1975. *Anim. Prod.*, 21, 285-294.
- CHAUVEL J., VILAIN-GUILLOT J., BOURDON D., 1975. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 7, 53-60.
- CLOSE W.H., MOUNT L.E., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 173-176, EAAP Pub. n° 19, G. de BUSSAC éd., Clermont-Ferrand.
- CLOSE W.H., MOUNT L.E., START I.B., 1971. *Anim. Prod.*, 13, 285-294.
- CLOSE W.H., VERSTEGEN M.W.A., MOUNT L.E., 1974. In MENKE K.H., LANTZSCH H.J. and REICHL J.R., *Energy metabolism of farm animals*, 153-160, EAAP Pub. n° 14, Univ. Hohenheim éd., Stuttgart.
- COOKE R., LODGE G.A., LEWIS D., 1972. *Anim. Prod.*, 14, 35-46.
- DAVEY R.J., MORGAN D.P., KINCAID C.M., 1969. *J. Anim. Sci.*, 28, 197-203.
- De GOEY L.W., 1973. Ph. D. Thesis, Iowa State Univ., 66 p.
- De GOEY L.W., EWAN R.C., 1975. *J. Anim. Sci.*, 40, 1052-1057.
- DESMOULIN B., 1969. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 1, 67-71.
- DESMOULIN B., 1973. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 5, 189-199.
- DESMOULIN B., 1976. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 8, 345-355.
- DESMOULIN B., 1978. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP éd., 10, (sous presse).
- DESMOULIN B., BOURDON D., 1971. *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, INRA, ITP, éd., 3, 73-90.

- DE VILLIERS V., SØRENSEN P.H., JAKOBSEN P.E., MOUSTGAARD J., 1958. Aflgring Institut for Sterilitetsforskning, Adersberetning, 139-164. København.
- DE WILDE R., VAN SPAENDONCK R., VANSCHOUBROEK F., 1974. In MENKE K.H., LANTZCH H.J. and REICHL J.R., *Energy metabolism of Farm animals*, 197-200, EAAP Pub. n° 14, Univ. Hohenheim éd., Stuttgart.
- DIGGS B.G., BECKER D.E., JENSEN A.H., NORTON H.W., 1965. *J. Anim. Sci.*, **24**, 555-558.
- DUEE P.H., SEVE B., 1978. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, I.T.P., éd., **10**, (sous presse).
- ELSLEY F.W.H., 1971 a. In FALCONER I.R., *Lactation*, 393-411, Butterworths, London.
- ELSLEY F.W.H., 1971b. *A.D.A.S. Quart. Rev.*, 30-38.
- ETIENNE M., HENRY Y., 1973. *Ann. Zootech.*, **22**, 311-326.
- ETIENNE M., DUEE P.H., 1976. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, I.T.P., éd., **8**, 133-138.
- ETIENNE M., CARREZ S., HENRY Y., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 351-354, EAAP Pub. n° 19, G. de BUSSAC éd., Clermont-Ferrand.
- ETIENNE M., DUEE P.H., PASTUSZEWSKA B., 1975. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, ITP éd., **7**, 115-120.
- FONNESBECK P.V., HARRIS LE., KEARL L.C., 1974. *Proc. Utah Acad. Sci. Arts and letters*, **51**, 85-92.
- FOWLER V.R., BICHARD M., PEASE A., 1976. *Anim. Prod.*, **23**, 365-387.
- FULLER M.F., BOYNE A.W., 1972. *Br. J. Nutr.*, **28**, 373-384.
- FULLER M.F., WEBSTER A.J.F., Mac PHERSON R.M., SMITH J.S., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 177-180, EAAP Pub. n° 19, G. de BUSSAC éd., Clermont-Ferrand.
- GÄDEKEN D., OSLAGE H.J., FLIEGEL H., 1974. In MENKE K.H., LANTZSCH H.J., and REICHL J.R., *Energy metabolism of farm animals*, 169-172, EAAP Pub. n° 14, Univ. Hohenheim éd., Stuttgart.
- GÜTTE J.O., LENKEIT W., 1960. *Zeitschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.* **15**, 165-191.
- HENRY Y., 1969. *Ann. Zootech.*, **18**, 371-384.
- HENRY Y., 1971. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, ITP éd., **3**, 57-64.
- HENRY Y., 1972. *Revue Française des corps gras*, **6**, 367-376.
- HENRY Y., 1974. *Ann. Zootech.*, **23**, 171-184.
- HENRY Y., 1976. *Feed Composition Symposium*, Logan, Utah, U.S.A.
- HENRY Y., 1977a. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, ITP éd., **9**, 259-264.
- HENRY Y., 1977b. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **17**, 923-952.
- HENRY Y., BOURDON D., 1973. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, ITP éd., **5**, 105-114.
- HENRY Y., BOURDON D., 1975. Journées Rech. Porcine en France, Paris, INRA, ITP éd., **7**, 71-80.
- HENRY Y., ETIENNE M., 1969. *Ann. Zootech.*, **18**, 337-357.
- HENRY Y., PASTUSZEWSKA B., 1976. *Ann. Zootech.*, **25**, 143-148.
- HENRY Y., RERAT A., 1972. IXth International Congress of Nutrition, Mexico.
- HILLCOAT J.B., ANNISON E.F., 1974. In MENKE K.H., LANTZSCH H.J. and REICHL J.R., *Energy metabolism of farm animals*, 177-180, EAAP Pub. n° 14, Univ. Hohenheim éd., Stuttgart.

- HOFFMANN L., JENTSCH W., KLEIN M., SCHIEMANN R., 1977a. *Archiv. Tierernähr.* **27**, 421-438.
- HOFFMANN L., SCHIEMANN R., JENTSCH W., 1977 b. *Archiv. Tierernähr.* (in press).
- HÖRNÖCKE H., 1970. In SCHÜRCH A., WENK C., *Energy metabolism of farm animals*, 165-168, EAAP Pub. n° 13, J. Druck ed., Zurich.
- HOVELL F.D. D.B., Mac PHERSON R.M., 1974. Proc. 25th Meeting EAAP, Pig Commission, Copenhagen.
- JENTSCH W., HOFFMANN L., 1977. *Archiv. Tierernähr.*, **27**, 491-507.
- JESPERSEN J., OLSEN H.M., 1939. Beretning kgl. Vet. Landbohøjsk Landoekom Forsøgslab., 174 p., Copenhagen.
- JORDAN J.W., 1974. In MENKE K.H., LANTZSCH H.J. and REICHL J.R., *Energy metabolism of farm animals*, 189-192, EAAP Pub. n° 14, Univ. Hohenheim ed., Stuttgart.
- JORDAN J.W., BROWN W.O., 1970. In SCHÜRCH A., WENK C., *Energy metabolism of farm animals*, 161-164, EAAP Pub. n° 13, J. DRUCK ed., Zurich.
- JORDAN J.W., WEATHERUP S., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 169-172, EAAP Pub. n° 19, G. de Bussac éd., Clermont-Ferrand.
- JUST NIELSEN A., 1970. Beretn. Forsøgslab., Nr 381, 212 p., Copenhagen.
- JUST NIELSEN A., 1975. *Wld. Rev. Anim. Prod.*, **11**, 18-30.
- JUST A., RASMUSSEN O.K., HANSEN H.L., 1976. In VERMOREL M., *Energy metabolism of farm animals*, 289-292, EAAP Pub. n° 19, G. de BUSSAC éd., Clermont-Ferrand.
- KEMME EH., PIETERSE P.J.S., LESCH S.F., 1967. *S. Af. Tydskr. Landbouwet.*, **10**, 997-1003.
- KIELANOWSKI J., 1976. EEC Colloquium on Feeding efficiency and interaction between genotype and nutrition in growing animals. INRA, Theix, France.
- KIELANOWSKI J., KOTARBINSKA M., 1970. In SCHÜRCH A., WENK C., *Energy metabolism of farm animals*, 145-148, EAAP Pub. n° 13, J. Druck ed., Zurich.
- KIRSCHGESSNER M., MÜLLER H.L., 1974. *Archiv. Tierernähr.*, **24**, 215-225.
- KOTARBINSKA M., 1969. Instytut Zootechniki, Wydawnictwa Wlasne n° 238, 68 p, Wroclaw.
- LEIBBRANDT V.D., EWAN R.C., SPEER V.C., ZIMMERMAN D.R., 1975. *J. Anim. Sci.*, **40**, 1069-1076.
- LEROY A.M., 1943. *Bull. Soc. Sci., Hyg. aliment.*, **31**, 21-45.
- LIBAL G., 1974. Thesis, South Dakota State Univ. 89 p.
- LODGE G.A., 1957. *J. Agr. Sci.*, **49**, 200-210.
- LODGE G.A., 1959. *J. Agric. Sci.*, **53**, 177-191.
- LODGE G.A., Mc DONALD I., MacPHERSON R.M., 1961. *Anim. Prod.*, **3**, 269-275.
- MacLEAN C.W., 1969. *Vet. Rec.*, **85**, 675-682.
- MacMEEKAN C.P., 1940. *J. Agric. Sci.*, **30**, 276-343 ; 387-436 ; 511-569.
- MacMEEKAN C.P., 1941. *J. Agric. Sci.*, **31**, 1-49.
- MacPHERSON R.M., CAMPBELL R.M., SMART R.I., 1973. *Anim. Prod.*, **17**, 287-293.
- MENGE H., FROBISH L.T., 1976. *J. Anim. Sci.*, **43**, 1019-1023.
- MILLER G.M., CONRAD J.H., KEEMAN T.W., FEATHERSTON W.R., 1971. *J. Nutr.*, **101**, 1343-1349.
- MILLWARD D.J., GARLICK P.J., REEDS P.J., 1976. *Proc. Nutr. Soc.*, **35**, 339-349.

- MORGAN D.J., COLE D.J.A., LEWIS D., 1975. *J. Agric. Sci., Camb.*, **84**, 7-27.
- MOAL J., GAYE A., DESMOULIN B., 1972. *Journées Rech. Porcine en France, Paris*. INRA - ITP éd., **4**, 121-125.
- MOUSTGAARD J., 1959. In COLE H.H., CUPPS P.T. *Reproduction in domestic animals*, Vol. II, 169-223, Acad. Press, New-York.
- MÜLLER H.L., KIRCHGESSNER M., KELLNER B.B., 1974. *Archiv. Tierernähr.*, **24**, 175-186.
- NEHRING K., 1969. In Blaxter K., KIELANOWSKI J., THORBEC G., *Energy metabolism of Farm animals*, 5-20, EAAP Pub. n° 12, Oriel Press, Newcastle.
- NEHRING K., SCHIEMANN R., HOFFMAN L., 1969. In BLAXTER K., KIELANOWSKI J., THORBEC G., *Energy metabolism of farm animals*, 41-50, EAAP Pub. n° 12, Oriel Press, Newcastle.
- NEHRING K., SCHIEMANN R., HOFFMANN L., KLIPPEL W., 1960. *Archiv. Tierernähr*, **10**, 275-320.
- NOBLET J., HENRY Y., 1977. *Ann. Zootech.*, **26**, (sous presse).
- N.R.C., 1973. *Pub. National Academy of Science, National Research Council, Washington D.C.*
- O'GRADY J.F., BOWLAND J.P., 1972. *Can. J. Anim. Sci.*, **52**, 87-96.
- O'GRADY J.F., ELSLEY F.W.H., MacPHERSON R.M., McDONALD I., 1973. *Anim. Prod.* **17**, 65-74.
- OLLIVIER L., HENRY Y., 1977. *Proc. 28th Meeting EAAP, Pig Commission, Brussels*.
- OSLAGE H.J., 1962. *Zeitschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk.*, **17**, 350-382.
- OSLAGE H.J., GÄDEKEN D., FLIEGEL H., 1970. In A. SCHÜRCH et C. WENK. *Energy metabolism of Farm Animals*, 133-136, EAAP Pub. n° 13, J. Druck ed. Zurich.
- PERET J., CHANEZ M., COTA J., MACAIRE I., 1975. *J. Nutr.*, **105**, 1525-1534.
- PIELOK J., 1952. *Archiv. Tierernähr. Beihefte, Heft n° 2*, 3-64.
- RERAT A., DUEE P.H., 1976. *Nutrition et reproduction chez la truie*. ITP ed. 34 p.
- RUBNER M., 1902. *Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung*, Franz, Denticke - Verlag, Leipzig, 265 p.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1962. *Journées CETA, étude n°638*, 6 p.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1965. *Thèse. Quelques aspects des relations nutritionnelles entre la lactation et la gestation chez la truie*. Fac. Sci., Paris.
- SALMON-LEGAGNEUR E., JACQUOT R., 1961. *C.R. Acad. Sci.*, **53**, 544-546.
- SAUVANT D., FEHR P.M., 1976. *8ème Journées du grenier de Theix*. INRA.
- SCHIEMANN R., NEHRING K., HOFFMANN L., JENTSCH W., CHUDY A., 1972. *Energetische Futterbewertung und Energienormen*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 34 p.
- SCHNEIDER D., BRONSCH K., 1977 *Z. Tierphysiol. Thierernähr. Futtermittelk.* **38**, 43-50.
- SELLIER P., HOUIX Y., DESMOULIN B., HENRY Y., 1974. *Journées Rech. Porcine en France, Paris*, INRA, ITP éd. **6**, 209-219.
- SELLIER P., BOLET G., HENRY Y., DESMOULIN B., 1978. *Ann. Génét. Sél. anim.* (sous presse).
- SHARMA V.D., YOUNG L.G., SMITH G.C., 1971. *Can. J. Anim. Sci.*, **51**, 761-770.
- SHARMA V.S., YOUNG L.G., SMITH G.C., SAISON R., 1972. *Can. J. anim. Sci.* **52**, 751-759.
- SMITH D.M., 1959a. *N.Z.J. Agric. Res.*, **2**, 1057-1070.
- SMITH D.M., 1959b. *NZJ. Agric. Res.*, **2**, 1071-1083.
- SMITH D.M., 1960a. *N.Z.J. Agric. Res.*, **3**, 598-616.

- SMITH D.M., 1960b. N.Z.J. Agric. Res., 3, 745-763.
- THOMKE S., 1960. Kungl. Lantbrukshogskolans Annaler, 26, 269-288.
- THORBEEK G., 1974. In MENKE K.H., LANTZSCH H.J. and REICHL J.R., - **Energy metabolism of farm animals**, 147-151, EAAP Pub. n° 14, Univ. Hohenheim. ed., Stuttgart.
- THORBEEK G., 1975. Beretn. Statens Husdyrbrugs. Forsøg., Nr. 424, 159 p. Copenhagen.
- THORBEEK G., HENCKEL S., 1976. In VERMOREL M., **Energy metabolism of farm animals**, 117-120, EAAP Pub. n° 19, G. de Bussac éd., Cerlmon-Ferrand.
- VAN ES A.J.H., 1970. In SCHÜRCH A., WENK C., **Energy metabolism of farm animals**, 97-100, EAAP Pub. n° 13, J. Druck ed., Zurich.
- VAN ES A.J.H., 1972. In LENKEIT W., BREIREM K., CRISEMANN C., **Handbuch der Tierernährung**, Band 2. Leistungen und Ernährung, 1-54, P. Parey ed., Hamburg.
- VAN ES A.J.H., 1974. The energy value of rations for monogastric animals. Internat. Energy Management Conf., N.R.A., Luxembourg.
- VANSCHOUBROEK F., EMBO P., 1962. Vlaams Diergenusk. Tijds., 31, 129-144.
- VANSCHOUBROEK F., VAN SPAENDONCK R., 1973. Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk., 31, 1-21.
- VAN SOEST P.H., 1963. J.A.O.A.C., 46, 825-829.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1967, J.A.O.A.C., 50, 50-55.
- VAN SPAENDONCK R., 1977. Proc. 2 nd Int. Symp. Protein metabolism and nutrition, Flevohof, Netherlands, 104-108.
- VEEVODERTABEL, 1976. Centraal Veevoederbureau, Nederland.
- VERMOREL M., 1977. 9ème Journées du grenier de Theix, INRA, 12 p.
- VERSTEGEN M.W.A., 1971. Thèse 71-2, Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, Nederland
- VERSTEGEN M.W.A., VAN ES A.J.H., NIJKAMP N.J., 1971. Anim. Prod., 13, 677-684.
- VERSTEGEN M.W.A., CLOSE W.H., START I.B., MOUNT L.E., 1973. Br. J. Nutr. 30, 21-35.
- VERSTEGEN M.W.A., VAN DER HEL W., CÖP W.A., 1974. In MENKE K.H., LANTZSCH H.J., REICHL J.R., **Energy metabolism of farm animals**, 157-164. Univ. Hohenheim ed., Stuttgart.
- WENK C., 1973. Thèse. Eidgenoessischen Technischen Hochschule Zuerich, Diss Nr 4973, Zurich.