

ALIMENTATION AZOTEE DU PORC

DUEE P.H. et SEVE B.

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

Les facteurs nutritionnels conditionnent le rendement à tous les stades de la production porcine. En termes économiques, il s'agit donc d'ajuster la fourniture alimentaire aux besoins inhérents aux niveaux de production recherchés. Il a été établi, par ailleurs, que l'animal exige un apport global d'énergie (HENRY et ETIENNE, 1978) dans sa ration. Parmi les formes possibles de cet apport, les matières azotées jouent un rôle privilégié car elles sont nécessaires à la formation des protéines déposées ou sécrétées.

On comprend donc qu'il soit opportun d'établir des normes d'alimentation azotée, en relation avec l'intensité de production (niveau de croissance, dépôt de muscles, prolificité, etc...), représentant alors le critère d'appréciation du besoin azoté. Dans cette optique, il est également important de définir les combinaisons optimales de ces différents niveaux de performances afin de proposer des recommandations applicables dans un contexte d'élevage donné.

Dans ce rapport, il sera précisé, tout d'abord, la signification même du besoin azoté chez le porc. On abordera ensuite l'étude de l'effet des modifications des apports protéiques aux différents stades de la vie utile de l'animal, dans le but d'établir des recommandations. Enfin, on envisagera également le problème de la couverture de ces besoins par les différentes sources de protéines disponibles.

I - SIGNIFICATION DU BESOIN AZOTE CHEZ LE PORC

L'expression de besoin azoté chez le porc, comme chez d'autres espèces, se présente sous deux aspects: d'une part, un besoin azoté qualitatif, en 10 acides aminés indispensables, et d'autre part, un besoin azoté quantitatif qui correspond à une demande globale de matières azotées, destinée à couvrir également le besoin en acides aminés non indispensables. Avant d'établir ces différents tableaux de recommandations, il est nécessaire de définir les principes de l'utilisation des acides aminés alimentaires dans l'organisme et de rappeler les facteurs qui peuvent la modifier.

1 - Appréciation du besoin azoté

La synthèse de protéines, permanente chez l'animal, donne, dans certains états physiologiques, différentes illustrations : dépôts de muscles, en croissance, synthèse et sécrétion des protéines du lait. Or, pour réaliser cette synthèse protéique, la présence simultanée de l'ensemble des acides aminés indispensables est requise. Par ailleurs, les quantités de protéines synthétisées sont très largement supérieures aux quantités de protéines déposées ou sécrétées. En effet, dans les cellules des mammifères, les protéines sont continuellement dégradées et resynthétisées à des vitesses différentes selon la nature et la localisation de la protéine. Ainsi, on a démontré que ce "turnover" des protéines est beaucoup plus rapide au niveau intestinal qu'au niveau musculaire. Pour un animal à l'entretien, la vitesse de synthèse des protéines est égale à la vitesse de leur dégradation. Par contre, l'animal en croissance présente un anabolisme réel supérieur au catabolisme. De l'intensité respective des deux phénomènes découlent les quantités apparemment anabolisées. L'estimation du besoin quantitatif et qualitatif en matières azotées doit donc passer par l'appréciation des phénomènes de synthèse protéique. Elle doit tenir compte de l'apport endogène d'acides aminés consécutif aux phénomènes de catabolisme. Or, la méthodologie correspondante n'est pas aisée (ARNAL, 1977) ; on comprend alors que les critères couramment utilisés portent sur l'appréciation de la résultante des deux phénomènes, soit les quantités déposées ou sécrétées. Si l'on considère l'animal en croissance, le gain de poids durant la période expérimentale est le critère le plus directement applicable ; on affine d'ailleurs ce premier paramètre en le rapportant à la quantité d'aliment ou de protéines consommées.

mée : on définit ainsi l'efficacité alimentaire. Mais le gain de poids réalisé reste un paramètre insuffisant si l'on sait que la composition de ce gain pondéral est variable suivant l'âge de l'animal ou les variations qualitatives du régime alimentaire. Seul, l'abattage des animaux, et l'étude de leur composition corporelle, peut permettre d'apprécier les quantités de masses maigres constituées, qui sont en relation étroite avec les quantités de protéines déposées.

Cette approche de l'estimation de la rétention azotée peut être également réalisée par la méthode des bilans, avec, cependant, une surestimation pouvant aller jusqu'à 25 % des quantités réellement déposées (VAN ES, 1972). Par cette technique, la rétention azotée est mesurée par différence entre l'azote ingéré et l'azote excrété dans l'urine et les feces. On rappellera toutefois que le rapport entre l'anabolisme protéique réel et l'estimation de l'anabolisme apparent par cette dernière méthode, n'est pas constant.

D'autres méthodes biochimiques se sont récemment développées qui permettent d'apprécier également le besoin en certains acides aminés indispensables pour un état physiologique donné : nous nous limiterons ici, à la description de l'aminocidémie libre. Les acides aminés libres du sang constituent, en effet, la principale forme de transport des protéines alimentaires vers les tissus. Leurs concentrations, à un instant donné, résultent de l'influence de différents facteurs, tels que l'apport alimentaire, la disponibilité des acides aminés, la soustraction des amino-acides du plasma pour la synthèse et le renouvellement des tissus ou le catabolisme des protéines tissulaires (FAUCONNEAU et PION, 1969 ; RERAT, 1971 ; PION, 1974). Dans des conditions de prélèvement qu'il s'agit de définir (rythme alimentaire, temps de jeûne), il semble qu'il y ait, au moins pour certains acides aminés indispensables, une relation entre leurs concentrations sous forme libre dans le sang comme dans le muscle et le taux de satisfaction de leurs besoins respectifs.

Un exemple d'utilisation de ce paramètre est présenté dans le tableau 1. Le remplacement partiel des protéines du tourteau de soja par celles de la féverole entraîne une légère dépréciation de la vitesse de croissance ou de l'efficacité alimentaire quand la féverole est introduite au taux de 15 % dans la ration. Les performances sont cependant améliorées après supplémentation en tryptophane. Au taux de 30 % dans la ration et sans apport complémentaire de niacine (dont le tryptophane est un précurseur), les performances sont alors dépréciées puis partiellement revalorisées après supplémentation en tryptophane. Dans ces conditions, quelle est l'évolution de l'aminocidémie libre ? Si l'on considère les variations de la lysine libre, cet acide aminé étant un des facteurs limitants des protéines utilisées, on constate qu'à la détérioration des performances de croissance correspond une accumulation de l'acide aminé dans le sang. Cette relation est beaucoup plus démonstrative si l'on considère l'évolution de la lysine libre par rapport à la somme des acides aminés indispensables. C'est donc l'évolution des concentrations des acides aminés indispensables les uns par rapport aux autres plutôt que celle du seul acide aminé limitant primaire qui illustre le mieux l'état de satisfaction du besoin qualitatif en protéines.

TABLEAU 1

APPRECIATION DE LA SATISFACTION DU BESOIN AZOTE CHEZ LE PORC EN CROISSANCE :
CAS DE LA FEVEROLE SUPPLEMENTEE EN TRYPTOPHANE

(HENRY *et al.*, 1976)

	TEMOIN	FEVEROLE 15 %		FEVEROLE 30 %	
	MAIS-SOJA	SANS TRYPT.	AVEC TRYPT.	SANS TRYPT.	AVEC TRYPT.
Gain moyen quotidien de 20 à 50 kg (g/jour)	513	493	501	425	467
Indice de consommation (kg d'aliment/kg gain)	2,58	2,74	2,70	3,05	2,89
Teneur en lysine libre du sang (1) (mg/100 g)	2,95	3,33	3,27	3,76	4,37
Concentration en lysine par rapport à la somme des acides aminés indispensables (%)	13,2	14,8	14,3	20,2	18,0

(1) Prélèvement effectué à 50 kg de poids vif, 4 heures après le repas.

Le choix des critères dépendra des conditions expérimentales et des objectifs que l'on se fixe. C'est ainsi qu'en croissance, il s'agira d'obtenir des carcasses maigres dans des conditions optimales d'alimentation (indice de consommation minimal). En reproduction, l'objectif principal est de faire produire aux truies le maximum de porcelets à un poids leur permettant une croissance ultérieure normale.

2 - Principaux facteurs de variation du besoin azoté

De nombreux facteurs font varier le besoin quantitatif et qualitatif en matières azotées, en modifiant probablement l'intensité relative des phénomènes d'anabolisme et/ou de catabolisme. Certains seront présentés dans les chapitres suivants (âge de l'animal, sexe...). Nous illustrerons, par quelques exemples, le rôle de certains paramètres liés à l'animal ou à l'apport alimentaire.

Le type génétique de l'animal intervient, tout d'abord, par des différences dans les potentialités de dépôts de tissus maigres ou gras, comme le rappellent OLLIVIER et HENRY (1977). Ces différences peuvent se traduire par des variations des quantités d'azote retenu (BROWN et al., 1973). Compte tenu d'une utilisation plus forte de l'énergie métabolisable dans le cas de la formation de tissu musculaire par rapport au dépôt de tissus gras, des porcs à forte musculature (Landrace Belge, Piétrain) ont une meilleure efficacité alimentaire que celle d'animaux présentant une conformation normale, comme les animaux de race Landrace Français (SELLIER et al., 1974, 1977). Par ailleurs, quant l'apport protéique est réduit (taux protéique de la ration de 16 à 11 %), la diminution du gain moyen quotidien est moins sévère dans les lignées grasses que dans les lignées maigres (tableau 2) et l'écart entre les deux groupes de porcs est variable suivant les classes d'âge considérées. A l'intérieur des deux races, c'est la lignée maigre qui bénéficie le plus de l'accroissement du taux de protéines pour la formation de tissus maigres. A l'inverse, le maintien d'un taux azoté élevé pendant la période de finition (après 50 kg de poids vif) peut provoquer un effet dépressif sur la croissance chez les porcs les moins exigeants en acides aminés (SELLIER et al., 1974 ; 1977 cités par OLLIVIER et HENRY, 1977).

TABLEAU 2
EFFET D'UNE RESTRICTION AZOTEE SUIVANT LA LIGNEE GENETIQUE
ET L'AGE DE L'ANIMAL
(DAVEY, 1976)

RACE	DUROC		YORKSHIRE	
	GRASSE	MAIGRE	MAIGRE	GRASSE
Diminution de la croissance à la suite de la restriction azotée (g/j) :				
- de 80 à 140 jours	49	<u>82</u>	<u>91</u>	38
- de 80 à 200 jours	89	<u>155</u>	<u>141</u>	98
- de 80 à 260 jours	65	<u>152</u>	<u>198</u>	138

Quoi qu'il en soit, l'évolution de la production porcine vers l'obtention de carcasses de type maigre ou la sélection de lignées à potentiel de développement musculaire élevé nécessite une révision des recommandations en acides aminés indispensables.

Un autre exemple d'adaptation des besoins à l'intensité de production de l'animal figure dans le tableau 3. Il s'agit de l'estimation des quantités moyennes de nutriments azotés et de lysine exportées dans le lait suivant la taille de portée allaitée. Quand la taille de portée allaitée passe de 8 à 12 porcelets, les quantités moyennes de matières azotées exportées dans le lait s'accroissent de 30 %. Le problème se pose alors de rechercher la meilleure répartition sur l'ensemble du cycle de reproduction, du supplément d'apport protéique consécutif à l'augmentation du besoin.

TABLEAU 3

EXIGENCES NUTRITIONNELLES DES TRUIES EN LACTATION :
INFLUENCE DU NOMBRE DE PORCELETS ALLAITES

Taille de la portée	6	8	10	12
Production laitière (1) (kg par jour)	5.2	6.6	7.6	8.6
Quantités moyennes de nutriments exportés dans le lait (g/jour) :				
- matières azotées	310	400	460	520
- lysine	24	31	35	40

(1) d'après ELSLEY (1970)

S'il est nécessaire de fournir, par la ration, un apport équilibré en acides aminés, pour satisfaire aux besoins de la synthèse protéique, il ne faut pas perdre de vue que la fourniture d'énergie, assurée principalement par les apports glucidique et lipidique, est indispensable à la synthèse protéique. Dans le cas contraire où subsiste une carence énergétique, les matières azotées sont alors utilisées à des fins énergétiques. Compte tenu de l'influence du niveau énergétique sur l'intensité de la synthèse protéique, tous les facteurs modifiant la quantité d'énergie métabolisable peuvent moduler le niveau de rétention azotée de l'animal (teneur en cellulose de la ration, dépenses énergétiques accrues par la thermorégulation etc...). On conçoit ainsi que le besoin en acides aminés varie suivant l'apport énergétique.

D'une manière générale, l'utilisation du facteur limitant primaire, qui est souvent la lysine pour le type de ration couramment utilisée dans l'alimentation du porc en croissance, dépend non seulement de l'apport énergétique fourni mais aussi du niveau de consommation de cet acide aminé et d'autres (acides aminés soufrés, par exemple). Dans ces conditions, l'utilisation de la lysine, c'est-à-dire le pourcentage de lysine consommée qui est déposée, peut varier du simple au double (tableau 4).

TABLEAU 4

UTILISATION DE LA LYSINE SUIVANT DIFFERENTES SITUATIONS NUTRITIONNELLES
CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

(WIESEMÜLLER et POPPE, 1974)

EN % DES NORMES lys./A.A. soufrés	APPORT ENERGETIQUE n = normal h = haut	CONSOMMATION DE LYSINE (kg)	DEPOT DE LYSINE (g)	RENDEMENT (%)
100/100	n	1,96	777	39,6
70/70	n	1,49	625	42,0
100/120	h	1,64	683	41,5
120/120	h	1,97	703	35,7
70/120	h	1,36	460	33,9
150/70	h	2,68	589	22,0

3 - Modes d'expression du besoin azoté

Les modalités permettant une synthèse protéique optimale sont donc établies ; le problème se pose alors d'exprimer les quantités minimales de matières azotées et d'acides aminés indispensables pour la réalisation des objectifs précédents.

L'intérêt, d'un point de vue pratique, est d'exprimer les recommandations en pourcentage du régime. Cette façon de faire n'est pas très rigoureuse en raison des variations possibles du niveau de consommation en

fonction de la teneur énergétique du régime. Cependant, elle peut se justifier dans certains cas, comme pendant la gestation où un rationnement constant est préconisé. La recherche d'un niveau maximal de rétention journalière d'azote implique, par ailleurs, la notion de besoin journalier de protéines ou d'acides aminés. Ce dernier peut être défini comme l'apport nécessaire à l'obtention de la rétention azotée maximale dans des conditions optimales d'équilibre des acides aminés entre eux et par rapport à l'énergie.

On peut toutefois se demander si le mode d'expression faisant appel aux besoins en acides aminés digestibles n'est pas plus judicieux pour certains types de protéines consommées. On sait, en effet, que la digestibilité des matières azotées varie suivant la nature de la protéine et le taux de cellulose dans la ration d'une part, suivant certains traitements technologiques d'autre part.

En outre, la digestibilité de chaque acide aminé, par rapport à celle globale des matières azotées, peut être modifiée selon le type de régime utilisé (MEIER, POPPE et WIESEMULLER, 1970). Les résultats, consignés dans le tableau 5, nuancent cette dernière appréciation. L'écart moyen entre les digestibilités de chaque acide aminé et celle des matières azotées reste faible et comparable pour deux protéines dont l'utilisation digestive est pourtant très différente. Ainsi, il semble seulement nécessaire de tenir compte de l'utilisation digestive des matières azotées dans leur ensemble.

TABLEAU 5
DIGESTIBILITE REELLE DE CERTAINS ACIDES AMINES INDISPENSABLES
(PASTUSZEWSKA *et al.*, 1974).

NATURE DE LA PROTEINE	TOURTEAU DE SOJA		FEVEROLE	
	C.U.Dr	en % CUDr N	C.U.Dr	en % CUDr N
Thréonine	92,6	98,8	78,2	95,6
Valine	94,1	100,4	78,1	95,4
Méthionine	93,2	99,4	80,6	98,5
Isoleucine	92,7	98,8	78,6	96,7
Leucine	92,8	98,9	81,8	98,3
Lysine	93,3	99,4	81,8	100,0
Matières azotées	93,8	100,0	81,8	100,0

En définitive, le mode d'expression des besoins dépendra du stade physiologique considéré et de la connaissance, à ce niveau, des interrelations existant entre l'apport minimal d'acides aminés et le niveau énergétique préconisé. Dans cette optique, nous présenterons successivement les phases de reproduction, de croissance précoce et d'engraissement. Le peu de connaissances accumulées dans le domaine de l'alimentation du verrat ne nous permet pas, actuellement, de définir des recommandations spécifiques. Cependant, les travaux de HUHN *et al.*, (1973) et de POPPE *et al.*, (1974 a, b et c) indiquent qu'une supplémentation en lysine et en méthionine pourraient favoriser la production de sperme et sa teneur en spermatozoïdes. Ces faits expérimentaux démontrent la nécessité de recherches nutritionnelles dans ce secteur.

II - NUTRITION AZOTEE DE LA TRUIE REPRODUCTRICE

Dans ce domaine, les données expérimentales permettant d'établir une base de recommandations sont récentes. Les normes quantitatives sont d'ailleurs variables. Ainsi, le besoin protéique journalier de gestation varie de 250 g à 400 g pour l'A.R.C. (1967) ; il est fixé à 280 g pour le N.R.C. (1973) mais est, en moyenne, inférieur à 200 g selon VANSCHOU BROEK et VAN SPAENDONCK (1973).

Quelle est l'origine de cette disparité ? Elle peut s'expliquer par un état nutritionnel différent des truies au moment de la conception (ELSLEY, 1976 ; KEMM, 1976), se traduisant soit par un poids initial variable, soit par une composition chimique différente. Elle traduit, par ailleurs, l'interdépendance des différentes phases

du cycle de reproduction chez la truie et des cycles successifs entre eux. La connaissance des relations nutritionnelles existant entre la gestation et la lactation est donc nécessaire avant la mise en place de recommandations. Dans cette optique, les aspects récents de la nutrition azotée chez la truie reproductrice seront rappelés ; par ailleurs, on envisagera les possibilités d'une diminution des apports quantitatifs et qualitatifs aux différentes phases du cycle de reproduction. Enfin, le problème de la couverture des besoins par de nouvelles sources azotées sera abordé.

1 - Phase préparatoire à la reproduction

Puisque la période de croissance représente une phase improductive chez la truie, un des objectifs en matière de production porcine est l'obtention d'une puberté précoce, sans altération des performances ultérieures de reproduction. De nombreux facteurs, revus récemment (RERAT et DUEE, 1976) accélèrent la maturité sexuelle ou modifient le taux d'ovulation aux premiers oestrus. Pour ce qui concerne le niveau alimentaire global, il a été établi que sa réduction au cours de la croissance entraîne, dans la plupart des cas, un retard à la puberté variable suivant le degré de restriction (HAINES et al., 1959 ; ZIMMERMAN et al., 1960 ; ETIENNE et DUEE, 1973). Le poids à la puberté est, par contre, toujours fonction du niveau d'alimentation au cours de la croissance ; le taux d'ovulation aux premiers oestrus est également vraisemblablement en relation avec ce facteur de variation. Le problème se pose de savoir si les conclusions précédentes quant à l'effet du niveau global d'alimentation sont retrouvées lorsqu'on envisage l'apport azoté au cours de la croissance. Autrement dit, il s'agit de définir si la jeune femelle destinée à la reproduction réclame des conditions d'alimentation azotée différentes de celles préconisées pour l'animal destiné à l'engraissement.

1.1. Nutrition azotée et âge à la puberté

Peu d'expériences ont été réalisées sur l'influence d'une restriction azotée, quantitative ou qualitative. Si CUNNINGHAM et al. (1974) constatent que l'abaissement du taux azoté de 14 à 10 % dans le régime fourni aux jeunes femelles après sevrage provoque un retard de puberté de 19 jours, JONES et MAXWELL (1974) et DUEE (1977a) ne signalent qu'un retard, non significatif de 8 à 10 jours dans des conditions à peu près analogues.

De la même façon, WAHLSTROM et LIBAL (1977) montrent qu'une restriction azotée (10 contre 14 % de protéines), appliquée à partir de 46 kg de poids vif, retarde l'âge à la saillie (au 3ème oestrus) d'environ 25 jours.

L'addition d'acides aminés, tels que la lysine, pourrait également provoquer un retard de puberté (FRIEND, 1973), en créant un déséquilibre dans la ration ; cet effet n'est cependant pas constaté en suralimentation libérale. On peut rapprocher ce résultat des données déjà anciennes de ROBERTSON et al. (1951). La nature de la source protéique de la ration (ZIMMERMAN et al. 1967) ou son taux d'introduction (FRIEND, 1977) ne semblent pourtant pas modifier l'apparition de la puberté.

Les différences ainsi constatées, consécutives à une modification des apports quantitatifs ou qualitatifs des matières azotées, restent faibles, en regard de celles enregistrées lors d'une variation du niveau global d'alimentation. Ceci est très bien illustré par l'expérience de FRIEND (1976) dont les principaux résultats sont consignés dans le tableau 6. Dans ce cas, l'âge à la puberté n'est significativement réduit que lors d'une augmentation du niveau de consommation des animaux.

TABLEAU 6

EFFET DU NIVEAU ALIMENTAIRE ET DE L'APPORT AZOTE SUR LA PUBERTE
(FRIEND, 1976)

NIVEAU ALIMENTAIRE NATURE DU REGIME	RATIONNE			AD LIBITUM
	MAÏS	MAÏS + LYSINE	MAÏS - SOJA	MAÏS - SOJA
Gain moyen quotidien (1) (kg/jour)	0.42	0.44	0.60	0.95
Niveau alimentaire (kg/jour)	1.95	1.82	1.88	3.02
Age à la puberté (jours)	200,8	200,1	193,8	173,1
Poids à la puberté (kg)	83,0	86,6	91,9	100,8

(1) A partir de 4 mois d'âge.

Il faut cependant souligner que, dans la plupart des cas, l'âge à la puberté est fonction de la vitesse de croissance des jeunes femelles, la puberté étant d'autant plus précoce que le niveau de croissance est plus élevé, ce qui pourrait expliquer l'effet de l'apport protéique sur la maturité sexuelle. On constate, par ailleurs, que le poids à la puberté est, en général, plus faible lorsque l'apport protéique est restreint.

1.2. Nutrition azotée au cours de la croissance et taux d'ovulation

Une restriction azotée pendant une période plus ou moins durable de la croissance provoque une diminution du taux d'ovulation chez la nullipare. Toutefois, l'amplitude des modifications des apports azotés n'est que faiblement ressentie au niveau de la variation du taux d'ovulation. Ainsi pour JONES et MAXWELL (1974), la diminution du taux protéique de la ration de 20 à 8 % provoque une réduction du taux d'ovulation de 1,8 ovules seulement. De la même façon, DUEE (1977a) et WAHLSTROM et LIBAL (1977) constatent une diminution du taux d'ovulation de 1,6 à 2,2 ovules lors d'une réduction importante des apports protéiques durant la période de croissance.

1.3. Nutrition azotée prépubertaire et performances ultérieures de reproduction

On a souvent constaté une tendance à une croissance compensatrice durant la gestation pour des animaux restreints en protéines pendant la période prépubertaire (DUEE, 1977a ; WAHLSTROM et LIBAL, 1977).

Par ailleurs, la taille de la portée à la mise-bas ne semble pas dépendante du niveau de consommation azotée avant la puberté. En effet, les variations du taux d'ovulation ne se répercutent pas sur le nombre de porcelets mis bas, du fait d'une augmentation de la mortalité embryonnaire (JONES et MAXWELL, 1974 ; DUEE, 1977a ; cf. tableau 7). Cependant, WAHLSTROM et LIBAL (1977) notent une diminution du nombre de porcelets sevrés quand le taux protéique de croissance est restreint ; ce dernier résultat n'est pas retrouvé par les autres auteurs.

TABLEAU 7

NUTRITION AZOTÉE PREPUBERTAIRE ET PERFORMANCES ULTERIEURES DE REPRODUCTION
(DUEE, 1977a)

Matières azotées (%)	11.5	11.5	17.5
Lysine (%)	0.42	0.62	0.86
Taux d'ovulation	10.4	12.6	12.6
Nombre d'embryons vivants à 30 jours	8.5	9.3	10.7
Taille de la portée à la mise-bas	8.5	8.5	8.5

En conclusion, une alimentation azotée équilibrée qui permet une croissance maximale pendant la période prépubertaire, est seule compatible avec la réalisation de performances optimales de reproduction (puberté, prolificité à la première mise-bas). Une réduction du taux azoté du régime fourni pendant cette période provoque un retard plus ou moins important de la puberté et une réduction du taux d'ovulation sans que pourtant cela se traduise au niveau des performances de mise-bas.

2 - Gestation et lactation chez la truie

Avant d'envisager l'intervention possible du facteur alimentaire sur le déroulement de la gestation et de la lactation, il convient de décrire ces phénomènes physiologiques :

2.1. Caractéristiques des dépenses azotées pendant le cycle de reproduction

La truie étant fécondée débute une gestation de 114 jours. Cette période se caractérise par une prise de poids de l'animal, résultant de deux phénomènes principaux : le développement du contenu utérin et la synthèse de tissus maternels.

Les dépôts du contenu utérin en divers nutriments, du fait de la grande richesse en eau des productions, restent faibles et interviennent essentiellement en fin de gestation. A la mise bas, par exemple, les quantités de protéines brutes correspondant aux produits de la conception s'élèvent de 1,7 à 1,8 kg environ, soit l'équivalent d'une semaine de consommation protéique (ou 6 % de l'ingéré total de gestation).

Par ailleurs, le gain propre de la mère ou gain net de gestation, qui varie considérablement, concerne non seulement les organes de reproduction (utérus, mamelle), mais l'organisme tout entier et notamment la masse musculaire. La différence de gain de poids des truies gestantes et non gestantes, recevant un même régime, qui n'est pas expliquée par le poids des produits de la conception, met donc en évidence un gain de poids propre à l'état physiologique considéré et que l'on nomme "anabolisme gravidique" (SALMON-LEGAGNEUR, 1965 ; LODGE et al., 1961 ; ROMBAUTS, 1962). La comparaison des bilans azotés et de l'analyse des tissus formés permet, par ailleurs, de conclure que le dépôt azoté correspondant à la synthèse des tissus utérins représente un faible pourcentage du dépôt d'azote total au cours de la gestation lors d'une alimentation large (20 à 25 % selon SALMON-LEGAGNEUR, 1965 et PIKE, 1970).

En regard de la période précédente, les exigences nutritionnelles des animaux en lactation auxquelles ne peut faire face le niveau spontané de consommation d'aliment, sont considérables. Elles concernent, tout d'abord, la production laitière.

Deux facteurs importants modifient le niveau de production laitière et, par là même, l'ampleur de l'exportation de nutriments :

— d'une part, le nombre de porcelets allaités. Quand la taille de la portée allaitée est doublée (de 6 à 12), l'exportation journalière de matières azotées passe de 310 à 520 grammes.

— d'autre part, la durée de la lactation. Les données présentées au tableau 8 soulignent que la mise en pratique du sevrage à 21 jours permet une réduction très importante de la dépense azotée de lactation par rapport au sevrage traditionnel à 56 jours.

TABLEAU 8

EXIGENCES NUTRITIONNELLES DES TRUIES EN LACTATION :
INFLUENCE DE LA DUREE D'ALLAITEMENT (1)

Durée de la lactation (jours)	10	21	35	56
Quantité totale de lait produit par truie et par an (kg)	110	310	480	665
Quantités totales de nutriments exportés dans le lait (kg par an) :				
- matières azotées	6.4	17.0	27.0	40.0
- lysine	0.49	1.31	2.08	3.08

(1) D'après ELSLEY (1970).

Le lait de truie est presque deux fois plus riche en protéines et en lipides que le lait de vache (tableau 9). Sa fraction azotée présente elle-même une composition qui la différencie du lait de vache : elle est plus riche en globulines (10 à 17 % du total) et plus pauvre en caséine (55 %) et en β -lactoglobuline (2 %) que le lait de vache (SHEFFY et al., 1952 ; SALMON-LEGAGNEUR, 1965).

TABLEAU 9
COMPOSITION DU COLOSTRUM ET DU LAIT DE TRUIE

(pour 100 ml)	COLOSTRUM TRUIE	LAIT TRUIE	LAIT VACHE
		SALMON-LEGAGNEUR (1965)	
Matières azotées (g)	10.2	5.8	3.3
Lipides	5.2	6.2	3.5
Lactose	3.7	5.4	4.6
(en g p. 16 g N)	DUEE et JUNG (1973)		PION et FAUCONNEAU (1966)
Méthionine	1.75	2.10	2.6
Cystine	2.15	1.80	0.9
Arginine	5.4	5.0	3.55
Thréonine	6.0	4.3	4.6
Histidine	2.8	2.7	2.9
Isoleucine	4.0	4.25	5.75
Phénylalanine	4.75	4.15	5.35
Tyrosine	4.9	4.15	5.1
Valine	7.15	6.2	7.15
Leucine	9.55	8.9	10.0
Lysine	7.45	7.75	8.5
Somme des acides aminés indispensables et semi-indispensables	55.9	51.3	56.4

Par rapport au lait, le colostrum est plus riche en 9 acides aminés, la thréonine en particulier (tableau 9). Par contre, le lait de truie comporte par rapport au colostrum des teneurs plus élevées en méthionine, acide glutamique et proline. Ces différences reflètent les modifications intervenant dans les proportions des diverses fractions azotées du lait, les globulines étant remplacées partiellement et assez rapidement par le groupe des caséines.

Il faut signaler, également, que pour un stade de lactation donné, la variabilité des teneurs en acides aminés exprimées par rapport aux matières azotées est faible : le coefficient de variation des différentes concentrations oscille en effet entre 2 et 8 %. Par ailleurs, on sait que la croissance postnatale du porcelet est particulièrement rapide. L'analyse de la composition en acides aminés des protéines du porcelet traduit également une évolution importante, surtout pendant les deux premières semaines de vie, dans le sens d'un enrichissement en acides aminés indispensables (AUMAITRE et DUEE, 1974). En termes de dépôts, les résultats mettent en évidence une augmentation des quantités d'acides aminés indispensables en fonction de l'âge ou du poids. Ainsi, la quantité de lysine déposée est de 1,9 g par jour avant 5 kg de poids vif, puis passe à 2,25 g entre 5 et 10 kg pour atteindre 4,5 g entre 10 et 15 kg. Cependant, la comparaison des profils de composition en acides aminés du porcelet sous la mère et du lait de la truie en souligne la bonne similitude (tableau 10).

TABLEAU 10
COMPARAISON DES PROFILS EN ACIDES AMINÉS INDISPENSABLES (AA₁)
DES PROTÉINES DU LAIT ET DU PORCELET A 10 JOURS
(d'après DUEE et JUNG, 1973 ; AUMAITRE et DUEE, 1974)

(en p. 100 des AA ₁)	LAIT	PORCELET
Lysine	15,1	15,5
Histidine	5,3	6,0
Arginine	9,7	15,3
Thréonine	8,4	8,0
Valine	12,1	10,9
Isoleucine	8,3	7,9
Leucine	17,3	15,3
Tyrosine	8,1	6,2
Phénylalanine	8,1	8,3
Méthionine	4,1	3,6
Cystine	3,5	2,9

Il semble ainsi que, plus que la qualité, la quantité de protéines dans le lait, donc la production laitière, reste le facteur limitant de la croissance des porcelets sous la mère. La seconde caractéristique de la lactation chez la truie est la perte de poids, qui est très variable, au cours de cette période. Le fait que la truie perde du poids pendant la lactation ne signifie cependant pas que, durant cette période, l'animal est moins apte à utiliser les principes nutritifs contenus dans son régime. Au contraire, l'utilisation de l'azote absorbé est particulièrement élevée durant la lactation, par rapport à celle enregistrée durant la gestation ou l'entretien. Une étude de bilans d'acides aminés, réalisée vers le 20ème jour de lactation sur 10 truies a permis de préciser les facteurs limitants de régime à base d'orge, complémentée par du tourteau de soja ou de la féverole (tableau 11). L'utilisation digestive apparente des acides aminés est conforme à celle que l'on a pu observer sur le porc en croissance (PASTUSZEWSKA et al., 1974). Le bénéfice corporel en matières azotées, à ce stade, est nul (ETIENNE et al., 1975), mais les animaux accusent une perte de poids. En tenant compte des quantités d'acides aminés ingérées, des pertes fécales et des quantités exportées dans le lait, il semble que le bénéfice maternel soit faible sinon nul pour la lysine, qui constitue donc le facteur limitant primaire. Le pourcentage d'utilisation de la lysine ingérée qui est exportée dans le lait est cependant très élevé et de l'ordre de 80 %. A ce stade donc, la satisfaction du besoin en lysine, et vraisemblablement en d'autres acides aminés indispensables (thréonine, acides aminés soufrés) nécessite un apport endogène correspondant au catabolisme des protéines musculaires, et d'autant plus prononcé que le nombre de porcelets allaités est plus élevé.

TABLEAU 11

BILAN QUOTIDIEN EN CERTAINS ACIDES AMINES INDISPENSABLES CHEZ LA TRUIE ALLAITANTE
(DUEE et al., 1975)

NATURE DE LA SOURCE PROTEIQUE (en g)	TOURTEAU DE SOJA				FEVEROLE			
	INGERE	CUDA %	LAIT	BILAN	INGERE	CUDA %	LAIT	BILAN
Lysine	32,3	79,0	24,5	1,0	32,0	76,6	26,3	-1,8
Thréonine	23,4	79,0	13,3	5,2	22,4	74,9	14,5	2,3
Méthionine	13,2	81,2	6,8	3,9	13,8	80,3	6,7	4,4
Valine	35,8	83,2	17,6	12,2	34,1	80,8	18,2	9,4
Matières azotées	710	82,5	336	250 (1)	693	80,1	348	207 (1)

(1) Sans compter les pertes urinaires.

2.2. Aspects quantitatifs de la nutrition azotée pendant le cycle de reproduction

L'application des méthodes classiques d'alimentation conduit à un gain de poids de la truie au cours de la gestation, auquel succède une perte à peu près de même ampleur au cours de la lactation. Est-ce au prix de telles variations du poids vif que sont obtenues les performances de reproduction maximales ? En fait, l'intérêt économique de cette façon de faire reste à démontrer. On sait que le facteur alimentaire règle en partie l'intensité de ces variations de poids vif. C'est l'aspect azoté de ce problème qui va maintenant être abordé.

2.2.1. Nutrition azotée en gestation

2.2.1.1. Taux azoté et performances de reproduction

Les observations de l'équipe de CORNELL (POND et al., 1968a et b, 1969) montrent qu'un régime protéoprive fourni à des truies nullipares pendant toute leur gestation a un effet néfaste sur la croissance et l'état sanitaire de la truie, mais le développement des foetus et le nombre des porcelets à la naissance sont conformes à la moyenne des portées des truies recevant un régime "témoin" ; seul le poids à la naissance est diminué de 25 % environ. Cette équipe a par la suite montré qu'une supplémentation en protéines d'un régime protéoprive pendant la seule phase d'implantation des blastocystes (16ème au 20ème jour) est bénéfique pour le développement des foetus, en comparaison avec ce qui se passe chez des animaux protéoprives. Ceci est à rapprocher du fait souvent démontré, que des régimes à taux azoté faible, administrés pendant tout ou partie de la gestation, permettent des performances de reproduction normales, quand on considère la taille de la portée à la mise-bas (CLAWSON et

al., 1963 ; BECZE, 1965 ; RIPPEL et al., 1965a ; RIPPEL, 1967 ; HOLDEN et al., 1968 ; De GEETER et al., 1972 ; ATINMO et al., 1974 et 1976 ; HAMMEL et al., 1976).

Dans certains cas où la restriction azotée durant la gestation est sévère, le poids moyen des porcelets est réduit (NIELSEN, 1970 ; YOUNG et al., 1973). Cette diminution de la croissance foetale peut être liée au passé nutritionnel de la truie : ainsi le poids des porcelets à la naissance est significativement plus faible lors de la 2ème portée de truies ayant reçu un régime pauvre en protéines pendant deux gestations (HAWTON et MEADE, 1971).

Bien qu'il ait été généralement démontré que seul le poids des porcelets à la naissance peut être influencé par le niveau azoté de gestation, quelques expériences semblent montrer que parfois la taille de la portée peut également être influencée : ainsi, un apport insuffisant de protéines en début de gestation (régime à 9 % de protéines) s'il n'est pas compensé par un apport large (régime à 16 %) au cours du dernier tiers de la gestation provoque une diminution de la taille de portée à la mise-bas (BAKER et al., 1970b et 1974b). Les différences sont toujours plus marquées pour les portées issues de primipares que celles issues de truies plus âgées. Cette tendance est confirmée par des résultats récents de GREENHALGH et al. (1977) démontrant l'existence d'une relation linéaire positive entre la teneur en matières azotées du régime de gestation et la taille de la portée à la mise-bas (tableau 12).

TABLEAU 12

EFFET DE LA CONSOMMATION AZOTÉE DE GESTATION SUR LA CROISSANCE MATERNELLE
ET LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION (1)

(GREENHALGH et al., 1977)

Consommation azotée de gestation (g/jour) . . .	180	220	260	300
Gain net de gestation (kg)	12,8	18,7	21,0	21,7
Nombre total de porcelets à la naissance	10,1	10,7	10,9	11,0
Nombre de porcelets nés vivants	9,7	10,1	10,3	10,4
Poids moyen des porcelets à la naissance (kg) . .	1,35	1,34	1,30	1,29

(1) Moyennes établies sur 4 cycles de reproduction.

Malgré ces quelques expériences discordantes, il apparaît que l'environnement nutritif du foetus n'est généralement que peu affecté par un régime de gestation restreint en protéines, ce qui démontre l'efficacité de l'effet "tampon" de la truie gravide. En définitive, les besoins azotés nécessaires au développement des foetus sont modiques et satisfaits en priorité par la mère lorsque l'apport exogène d'azote est insuffisant.

2.2.1.2. Taux azoté et anabolisme maternel

Les effets de la quantité de matières azotées consommées pendant la gestation sur les variations de poids vif et les performances à la parturition de la truie ont souvent été envisagés simultanément. Si, comme il a été noté précédemment, l'apport azoté à partir d'un minimum a peu d'influence sur le nombre et le poids des porcelets à la naissance, par contre, son effet sur le gain de poids de la mère est plus marqué et celui-ci constitue un excellent critère de l'efficacité azotée du régime.

HOLDEN et al. (1968) constatent, par ailleurs, un effet dépressif d'un excès de matières azotées dans la ration sur le gain de gestation (diminution du gain de poids de 20 % lors d'une augmentation de l'apport de matières azotées de 291 à 364 g/jour), ce qui est en contradiction avec les conclusions de PIKE et BOAZ (1969) et de MORI et NAGANO (1975). Cependant, GREENHALGH et al. (1977) observent un plateau dans l'augmentation de l'anabolisme de gestation avec l'accroissement de la consommation protéique (tableau 12). Enfin, dans le cas de restrictions azotées sévères durant cette période, le gain de poids maternel peut être très réduit, voire nul (ATINMO et al., 1974).

La différence de gain de poids enregistrée entre les truies recevant les régimes riche ou pauvre en matières azotées correspond à une augmentation de la rétention azotée, si l'on considère les résultats obtenus en bilans azotés (VELICKOVIC et JELIC, 1971 ; ELSLEY et al., 1966 ; SHEARER, 1971). On sait ainsi (MILLER

et al., 1969 ; ELSLEY et Mc PHERSON, 1964 ; RIPPEL et al., 1965b) que l'azote retenu augmente avec l'apport azoté. D'après les résultats de SALMON-LEGAGNEUR (1965) et de PIKE (1970), la quantité supplémentaire retenue dans ces conditions n'est pas affectée au contenu utérin, mais aux tissus maternels dont le gain d'azote peut doubler pendant que le gain de poids vif n'est augmenté que de 20 % environ.

2.2.1.3. Influence de l'apport azoté de gestation sur les performances des animaux après la naissance

Les résultats précédents soulignent que l'apport azoté de gestation n'a un effet prépondérant que sur le niveau des réserves azotées maternelles. Par ce biais, ne peut-il pas avoir une influence sur la lactation de la mère et sur les performances des porcelets entre la naissance et le sevrage ?

On a cependant longtemps considéré que l'apport azoté de gestation n'avait aucune influence sur la croissance postnatale jusqu'au sevrage. Beaucoup d'expériences viennent à l'appui de cette thèse (BOWLAND, 1964 ; ELSLEY et al., 1971 ; PIKE et BOAZ, 1969 ; BAKER et al., 1970a ; HESBY et al., 1970, 1972). Un certain nombre d'expériences récentes viennent infirmer cette conclusion. Ainsi, le poids au sevrage de la portée est diminué lorsque la mère reçoit durant la gestation un régime composé de maïs en place de maïs opaque 2 (BAKER et al., 1970a). Selon HAWTON et MEADE (1971) le poids moyen des porcelets à 21 jours est diminué lorsqu'en place d'un régime à base de maïs-soja, on administre à la truie en gestation un régime formé uniquement de maïs. C'est semble-t-il l'apport durant le dernier tiers de la gestation qui apparaît important (BAKER et al., 1974b) ; ainsi, les porcelets allaités par les truies ayant reçu un régime à base de maïs durant les 2 premiers tiers de la gestation, et de maïs-soja durant le dernier tiers sont significativement plus lourds à 21 jours que ceux allaités par des truies ayant reçu des régimes selon une séquence inversée (BAKER et al., 1970b).

Quoi qu'il en soit, tous ces faits semblent indiquer qu'une bonne lactation, reflétée par le gain de poids de la portée, n'est compatible, surtout chez la primipare, qu'avec un apport substantiel de protéines durant la dernière période de la gestation. Si tel n'est pas le cas, le gain de gestation est insuffisant pour contribuer par son catabolisme à la couverture de la dépense de lactation : et ce fait peut se traduire par une insuffisance quantitative (LENKEIT et GUTTE, 1957 ; NIELSEN, 1968) ou qualitative (STOTHERS et MILNE, 1964 ; HOLDEN et al., 1968) de la production laitière.

Par quel biais l'effet rémanent de l'apport protéique de gestation intervient-il sur les performances de lactation ?

Logiquement, on devrait pouvoir l'associer aux variations pondérales de la mère au cours des deux phases du cycle, gestation et lactation, puisque la prise de poids maternelle au cours de la gestation est la seule différence apparente enregistrée entre animaux recevant des régimes à taux variables de protéines. Or, l'influence des variations de l'apport azoté de gestation sur la perte de poids de la truie durant la lactation est très variable. Cette perte de poids serait plus élevée tantôt lorsque le régime de gestation est bien équilibré (BAKER et al., 1970b ; GREENHALGH et al., 1977), tantôt lorsqu'il est insuffisant (DE GEETER et al., 1972). Parfois l'influence du régime de gestation est nulle (BAKER et al., 1974b). Ce fait n'est d'ailleurs pas étonnant car la perte de poids de lactation est fonction d'un ensemble de facteurs, parmi lesquels les plus importants sont la prise de poids de gestation et les niveaux d'apports énergétique et azoté durant la lactation ainsi que le niveau de production lié au nombre de porcelets. Les relations entre ces divers facteurs devraient faire l'objet d'études élaborées.

Il apparaît, par ailleurs, que le niveau azoté de gestation n'influence pas seulement le poids des porcelets au sevrage, mais aussi celui de la portée en influant sur le taux de mortalité (HESBY et al., 1970 ; BAKER et al., 1970a et b ; HAMMEL et al., 1976 ; DE GEETER et al., 1972).

Enfin les performances de croissance après le sevrage sont intéressantes à considérer, mais les travaux réalisés à ce sujet ne permettent pas de conclure. Selon certains (AHLSCHEDE et ROBISON, 1971 ; LIVINGSTONE et al., 1966 ; BAKER et al., 1970b), le niveau d'ingestion d'azote durant la gestation n'a aucune influence sur les performances après le sevrage. Ainsi, HAWTON et MEADE (1971) constatent que chez les porcs issus de mères nourries de régimes déficients quantitativement en protéines, ni la vitesse de croissance, ni l'indice de consommation ne semblent modifiés après l'âge de 21 jours ; la composition corporelle à l'abattage reste en outre inchangée. Dans le cas de déficience azotée plus profonde, les résultats semblent alors contradictoires. Ainsi, avec des régimes très pauvres en azote, DE GEETER et al. (1973), ainsi que HAMMEL et al. (1976) mettent en évidence un ralentissement de la croissance jusqu'à l'abattage contrairement aux résultats obtenus par POND et al. (1968a).

Il faut enfin souligner que les conséquences d'une réduction considérable de l'apport protéique de gestation peuvent perturber les performances ultérieures de reproduction de la mère (retour en chaleurs après sevrage, taux d'ovulation), surtout si cette carence protéique est poursuivie en lactation (SVAJGR et al., 1972). Finalement, ce n'est que dans le cas d'une sévère carence azotée au cours de la gestation que les performances postnatales des animaux sont altérées tant au plan de la production laitière de la mère que des capacités de croissance et de résistance aux maladies des jeunes.

2.2.2. Nutrition azotée durant la lactation

2.2.2.1. Taux azoté et perte de poids de la truie pendant la lactation (tableau 13)

L'apport azoté durant la lactation est un facteur très important des variations de poids de la truie ; la perte de poids de cette dernière est d'autant plus importante que le taux azoté est plus faible (HOLDEN et al., 1968 ; O'GRADY, 1971 ; De GEETER et al., 1972), la relation entre ces deux variables étant linéaire (MAHAN et al., 1971a).

2.2.2.2. Influence de l'apport azoté sur la production laitière (tableau 13).

L'influence de l'apport azoté sur la production laitière est marquée en-dessous d'un certain taux. Ainsi, la production laitière est accrue de 18 % quand le taux azoté passe de 10 à 14 % (MAHAN et al., 1971c) ; par contre, aucune amélioration supplémentaire n'est constatée quand on continue d'accroître ce taux jusqu'à 19 % (Mc PHERSON et al., 1969 ; SALMON-LEGAGNEUR, 1964b ; MAHAN et al., 1971c). Cependant O'GRADY (1973) signale que l'utilisation de régimes ne contenant que l'orge comme source azotée pendant la lactation ne provoque aucune modification ni de la composition du lait, ni de la production laitière ; il est vrai que cet auteur employait des régimes à taux élevé (14 %) en gestation, et que cela pouvait tamponner les variations de production laitière.

TABLEAU 13

EFFET DU TAUX AZOTE DE LACTATION SUR LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION
ET LA PRODUCTION LAITIERE

(d'après MAHAN et al., 1971)

Taux azoté (1) (% ration)	10	12	14	16	18
Perte de poids en lactation (kg) de 0 à 28 jours	26,9	15,3	13,5	12,8	11,0
Gain de poids de la portée (kg) de 8 à 28 jours	24,2	26,0	28,5	31,8	30,8
Production laitière (kg/jour) :					
- 13 ^{ème} jour	5,08		4,97		5,32
- 21 ^{ème} jour	5,20		6,39		5,64
- 29 ^{ème} jour	4,03		5,57		5,67

(1) Après égalisation des portées à la naissance ; consommation identique suivant les lots.

L'influence du taux azoté sur la composition du lait est plus discutée : divers auteurs notent une augmentation de la teneur en protéines du lait lorsqu'on augmente le taux azoté du régime (SALMON-LEGAGNEUR, 1964b ; HOLDEN et al., 1968), la relation entre ces deux variables étant linéaire (MAHAN et al., 1971c) ; par contre, ELLIOTT et al. (1971) et Mc PHERSON et al. (1969) ne constatent aucune modification du taux azoté du lait dans ces conditions. Il semble que ce soit l'albumine du lait qui soit particulièrement accrue (SALMON-LEGAGNEUR, 1964b ; MAHAN et al., 1971c), mais les acides aminés totaux ont également tendance à augmenter avec le taux azoté (ELLIOTT et al., 1971).

En ce qui concerne le reste des constituants du lait, il semble que le taux azoté n'ait aucune influence significative sur leur teneur dans le lait (SALMON-LEGAGNEUR, 1964b ; Mc PHERSON et al., 1969 ; ELLIOTT

et al., 1971 ; MAHAN et al., 1971a). Par ailleurs, des études réalisées sur le colostrum (ELLIOTT et al., 1971), il résulte qu'il est plus sensible que le lait aux variations du taux azoté du régime : le taux d'azote ainsi que le taux de matière sèche sont plus élevés dans le colostrum de truies recevant des régimes à 15 % de protéines que de celles recevant des régimes à 10 ou 5 % de protéines.

2.2.2.3. Influence de l'apport azoté de lactation sur la croissance des porcelets

Divers auteurs (RIPPEL et al., 1965a ; MAHAN et al., 1971a, HOLDEN et al., 1968 ; ELLIOTT et al., 1971 ; DE GEETER et al., 1972) considèrent que l'accroissement du taux azoté du régime se traduit par une accélération de la croissance des porcelets pendant les premières semaines de leur vie (tableau 13).

Cependant, les performances de croissance des jeunes ne s'améliorent pas davantage pour les taux azotés élevés (HOLDEN et al., 1968). On comprend ainsi que d'autres auteurs (Mc PHERSON et al., 1969 ; O'GRADY, 1971) ne constatent aucune différence significative des performances des porcelets (sauf à la première portée, Mc PHERSON et al., 1969) car le plus faible taux azoté fourni dans leurs expériences était déjà large ; ceci était également le cas quand le régime de gestation était très riche en azote (O'GRADY, 1973 ; O'GRADY et HANRAHAN, 1975). Il semble ainsi que le taux azoté ait une influence marquée sur la croissance des jeunes porcelets jusqu'à un plateau ; il est probable que le taux à partir duquel l'effet de l'apport azoté ne se fait plus sentir est variable selon la composition des protéines du régime.

En définitive, il s'avère que la production laitière est relativement tamponnée puisque des variations très larges de l'apport alimentaire énergétique ou azoté, se traduisent par des variations plus réduites de la production laitière quantitative et qualitative, et des performances des porcelets. Par contre, on doit constater de fortes variations de poids de la truie en lactation, en liaison directe avec les variations de l'apport énergétique et azoté. On peut donc conclure que la constance relative de la production laitière est due à la contribution fort importante des tissus maternels en cas d'insuffisance d'apport alimentaire. Il ne faut cependant pas en déduire que la production laitière est invariable ; elle peut être modifiée dans certaines proportions grâce au facteur alimentaire pendant la lactation, mais également pendant la gestation comme cela a été montré antérieurement. La répartition de l'apport azoté entre gestation et lactation au cours des cycles successifs présente ainsi une grande importance qui va maintenant être illustrée par quelques exemples.

2.2.3. Chronologie de l'apport azoté durant le cycle de reproduction

A la lumière des résultats précédents, il est incontestable que le passé nutritionnel de la truie, et en particulier son alimentation durant la gestation précédente, peut modifier les effets d'une restriction azotée durant la lactation sur les performances de reproduction.

Par ailleurs, il faut souligner que du fait de la mise en oeuvre du sevrage précoce, le lait de la mère ne représente l'aliment unique du porcelet que durant une période courte de sa croissance post-natale initiale. L'impact d'une modification éventuelle de la production laitière est ainsi minimisé - sauf si cette période a une influence déterminante sur les performances ultérieures des jeunes - et l'influence d'une restriction azotée au cours de cette période est susceptible de présenter de moins en moins d'importance.

Si l'accroissement du taux azoté de gestation augmente d'une façon significative le gain de poids des animaux au cours de cette période, il faut souligner cependant, qu'à partir d'un certain taux, l'apport de protéines (17 à 20 %) n'améliore plus le bénéfice pondéral des truies, comme le démontrent MAHAN et MANGAN (1975). De toute façon, l'accroissement du gain net de gestation ainsi réalisé correspond en grande partie à une élévation du niveau des réserves azotées maternelles ; dans ces conditions, la restriction azotée durant la lactation n'a plus qu'une influence mineure sur le gain de portée durant cette période (MAHAN et MANGAN, 1975) : au taux élevé de 17 % de matières azotées en gestation, la réduction du gain de portée, à la suite d'une restriction protéique de lactation est trois fois moindre qu'au taux de 9 % de matières azotées en gestation. A l'inverse, à un taux relativement bas de matières azotées durant la gestation, doit succéder un apport pléthorique durant la lactation pour satisfaire les besoins propres à la production laitière maximale (MAHAN et GRIFO, 1975). Ce fait est illustré dans une expérience de DUEE (1976) et rapporté dans le tableau 14. Si l'on considère les performances des porcelets pendant les trois premières semaines de lactation, la restriction azotée de lactation n'a pas d'effet sur le gain de portée au premier cycle de reproduction, quel que soit le niveau de rétention azotée durant la gestation précédente (tableau 14) et cette absence d'effet est la conséquence d'une participation plus importante, à ce stade, des réserves de gestation dans la synthèse des constituants du lait. De tels résultats se retrouvent, dans une certaine mesure, au cours du second cycle, bien que l'apport azoté complémentaire de fin de gestation ne permette

plus de pallier complètement la diminution du taux azoté de lactation car, dans ce cas, les dépenses de production sont plus importantes.

TABLEAU 14
CHRONOLOGIE DE L'APPORT AZOTE PENDANT LE CYCLE DE REPRODUCTION CHEZ LA TRUIE
(DUEE, 1976)

TAUX PROTEIQUE (%) — gestation (1) — lactation (2)	10 16	10-13* 13	13 13	SIGNIFICATION STATISTIQUE
1er CYCLE :				
Variation du poids maternel en lactation (kg)	— 4.8a	— 17.7b	— 15.0b	**
Croissance de la portée (kg) :				
- de 0 à 21 jours	22.2	25.5	23.4	NS
- de 21 à 35 jours	14.4	13.9	14.4	NS
Consommation des porcelets de 21 à 35 jours (kg)	0.38	0.48	0.53	NS
2ème CYCLE :				
Variation du poids maternel en lactation (kg)	— 16.6	— 12.5	— 13.6	NS
Croissance de la portée (kg) :				
- de 0 à 21 jours	30.3	25.7	29.1	NS
- de 21 à 35 jours	18.9a	13.1b	16.1ab	*
Consommation des porcelets de 21 à 35 jours (kg)	0.59	0.38	0.66	NS

(1) Niveau alimentaire : 2 kg/jour ;

(2) Niveau alimentaire : 4,5 kg/jour (1er cycle)
5,5 kg/jour (2ème cycle).

* Changement de régime au 75ème jour de gestation.

Entre 21 et 35 jours d'âge, la croissance des porcelets au premier cycle est invariable quel que soit l'apport azoté de lactation, ce fait étant associé à l'augmentation de la consommation non laitière des porcelets, comme le rapportent également McPHERSON et al. (1969). Au second cycle, par contre, il existe une dépression de croissance liée à la diminution de l'apport azoté de lactation, cette dépression étant d'autant plus accentuée que le gain de gestation est faible. Il ressort ainsi que l'apport azoté de lactation ne peut être réduit lorsque l'apport de gestation a été lui-même marginal. En définitive, les relations très importantes existant entre réserves accumulées pendant la gestation, performances laitières des truies et croissance postnatale des porcelets (POND, 1973 ; MAHAN et GRIFO, 1975 ; DUEE, 1976) doivent être prises en considération dans l'établissement des recommandations alimentaires destinées au cycle de reproduction.

2.3. Aspects qualitatifs de la nutrition azotée au cours du cycle de reproduction

Ce n'est qu'assez récemment que l'aspect qualitatif de la nutrition azotée de la truie reproductrice a fait l'objet de recherches précises. Tout d'abord, les essais de comparaison entre différentes sources protéiques ont permis de montrer l'influence de la qualité des protéines, variable selon l'état physiologique (SALMON-LEGAGNEUR, 1964a) ; ultérieurement, des précisions ont pu être fournies sur ce problème grâce à des expériences de supplémentation de régimes déficients à l'aide de l'acide aminé qui leur manque et c'est sur ce dernier point que nous insisterons plus particulièrement. D'ailleurs, cette méthode a permis d'aborder l'analyse des besoins propres en acides aminés au cours du cycle de reproduction.

2.3.1. Lysine

● En gestation, DUEE et RERAT (1975) montrent une bonne convergence entre les différents critères étudiés (tableau 15). Un régime déficient en lysine (0,23 %) provoque une hypotrophie foetale, les

porcelets pesant 250 g de moins à la naissance sans toutefois que leur nombre soit altéré. Un apport complémentaire de cet acide aminé (0,21 %) profite d'abord à la portée et partiellement à la mère. L'azote retenu en fin de gestation comme la concentration en lysine libre du sang à 90 jours de gestation ne sont pas modifiés. Par contre, on note une diminution de la somme des acides aminés indispensables (AAI) et principalement de la thréonine qui traduit une meilleure utilisation des acides aminés alimentaires. Au taux de supplémentation le plus élevé (0,40 %), la lysine libre du sang s'accumule, montrant que le besoin spécifique en cet acide aminé est couvert : à ce niveau d'apport, le gain net de gestation et la rétention azotée sont accrus. Des résultats comparables sont retrouvés par WOERMAN et SPEER (1976) : un régime déficient en lysine (0,2 %) perturbe considérablement le profil sanguin des acides aminés essentiels ou non essentiels. Une accumulation des AAI (moins la lysine et le tryptophane) est enregistrée au taux de 0,3 % de lysine dans la ration ; par la suite, l'ensemble des AAI, sauf l'histidine diminue lorsque l'apport en lysine augmente.

TABLEAU 15

INFLUENCE D'UNE CARENCE EN LYSINE SUR LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION
DE LA TRUIE PRIMIPARE
(DUEE et RERAT, 1975)

Etat physiologique p. 100 lysine dans le régime	LOT 1 V 0.44	LOT 2 G 0.23	LOT 3 G 0.44	LOT 4 G 0.64
Gain total de gestation (kg)	30.7 a	39.7 ab	44.8 bc	49.8 c
Gain net de gestation (kg)	30.7	25.6	28.2	33.7
Perte de poids en lactation (kg)	—	- 1.3	5.5	16.3
Nombre de porcelets nés vivants par portée	—	8.4	8.5	7.5
Poids moyen des porcelets à la naissance (kg)	—	0.98a	1.25b	1.24b
Poids total de la portée à la naissance (kg)	—	8.11	10.55	9.42
Nombre de porcelets sevrés par portée (à 35 jours)	—	7.5	7.5	7.3
Poids moyen des porcelets au sevrage (kg)	—	5.73a	7.25b	8.10b
Poids total de la portée au sevrage (kg)	—	44.43	53.30	59.40

V : Truies vides

G : Truies gestantes.

● En lactation, une supplémentation en lysine d'un régime déficient (tableau 16) améliore la production laitière comme le bilan azoté maternel (LEWIS et SPEER, 1973). Cette amélioration est sensible surtout à partir de 0,48 % de lysine dans la ration. La concentration en lysine libre reste faible et relativement constante jusqu'à ce taux de 0,48 %. Sa concentration est, par contre, nettement accrue, pour un apport supérieur à 0,48 %. Parallèlement, la somme des AAI diminue surtout quand l'apport en lysine passe de 0,35 % à 0,48 % dans la ration.

TABLEAU 16

APPORT DE LYSINE EN LACTATION
(LEWIS et SPEER, 1973)

% lysine dans la ration	0.25	0.35	0.48	0.66	0.91
Production laitière (kg/jour)	6.18	6.25	7.47	7.07	6.86
Croissance des porcelets de 7 à 21 jours (kg)	2.06	2.06	2.59	2.59	2.37
Azote retenu (g/jour) (non compris l'azote exporté dans le lait)	34.8	39.6	51.65	55.6	52.5
Azote exporté dans le lait (g/jour)	39.9	41.4	55.1	51.4	47.2
Lysine libre du sang (mg/100 g de plasma)	0.84	1.14	1.94	5.90	9.73
Sommes des AAI - lysine	21.28	19.61	15.63	14.44	14.30

2.3.2. Thréonine

- Durant la gestation, selon DUEE (1977b), l'accroissement de la consommation de thréonine (de 5,6 à 9,8 g par jour) n'affecte pas les performances de reproduction à la mise-bas (nombre et poids des porcelets). Par contre, on peut noter, au niveau le plus faible de consommation de thréonine, une légère diminution du gain de poids des truies, comme de la quantité d'azote retenu en fin de gestation. L'examen des concentrations en acides aminés libres du sang, vers le 80ème jour de gestation, confirme une meilleure utilisation des acides aminés alimentaires quand le niveau d'ingestion de thréonine passe de 5,6 à 7,2 g par jour, ce qui se traduit par une diminution de la somme des acides aminés indispensables circulants et plus particulièrement de la lysine et des acides aminés ramifiés. Les variations du taux sanguin du facteur limitant sont moins nettes : son augmentation n'est pourtant significative que lorsque l'apport quotidien de thréonine est supérieur à 7,2 g.

- En lactation, LEWIS et SPEER (1975) constatent que, parallèlement à l'augmentation de consommation en thréonine, la production laitière s'accroît comme d'ailleurs le gain de poids des porcelets ; l'optimum étant atteint pour une teneur de 0,49 % de thréonine dans la ration. L'excrétion azotée urinaire est minimale au taux de 0,42 % de thréonine. C'est d'ailleurs au-dessus de ce taux que la concentration en thréonine libre du sang augmente. Finalement, en ce qui concerne les paramètres caractérisant le métabolisme azoté maternel, l'optimum est atteint au taux de 0,42 % de thréonine dans la ration mais une amélioration de la production laitière et de la croissance de la portée est obtenue au taux de 0,49 %.

2.3.3. Tryptophane

Pour la gestation, EASTER et BAKER (1977b) déterminent par bilan azoté, un taux minimum de 0,07 % de tryptophane dans la ration. En lactation, l'efficacité de la rétention azotée, la production laitière et le taux de protéines dans le lait atteignent leur maximum pour un taux de 0,091 % de tryptophane ; la croissance des porcelets est accélérée jusqu'au plus haut niveau de tryptophane utilisé (0,161 %) (LEWIS et SPEER, 1974). Par ailleurs, la concentration en tryptophane libre du sang n'était accrue que quand le taux correspondant dans la ration était supérieur à 0,066 %. Parallèlement, on constate une diminution de certains AAI (isoleucine, phénylalanine, thréonine, valine). En fait, si l'on considère l'ensemble des critères étudiés, la réponse apportée par les variations de l'aminoacidémie libre fournit une détermination du besoin légèrement plus faible que celle obtenue avec d'autres critères.

2.3.4. Acides aminés soufrés (AAS)

En gestation, HOLDEN et al. (1971) ne trouvent pas d'amélioration de la rétention azotée après supplémentation en méthionine d'un régime ne contenant que 0,18 % d'AAS. L'accroissement de consommation en méthionine augmente la teneur en méthionine libre du sang et parallèlement, on note une diminution des concentrations en certains AAI (arginine, isoleucine, lysine) ou en AANI (glycine, sérine). Dans le cas présent, le faible niveau de rétention azotée obtenu peut laisser supposer qu'il existe un facteur limitant autre que la méthionine.

En lactation, un régime à base de maïs et de tourteau de soja contenant 8 p. 100 de protéines et 0,15 p. 100 d'AAS ne semble pas être valorisé par l'addition de méthionine en ce qui concerne l'efficacité de la rétention azotée, la production laitière et le taux de protéines dans le lait ; par contre le poids des porcelets à 15 jours atteint son maximum pour un taux alimentaire de 0,23 p. 100 de méthionine (GANGULI et al., 1971). La teneur du sang en méthionine libre augmente quand la consommation en cet acide aminé est accrue : parallèlement, la teneur en thréonine libre augmente, tandis que diminuent les concentrations en acides aminés ramifiés. Dans cette expérience, il faut noter une production laitière moyenne relativement faible (4 kg/jour). Le besoin est considéré par les auteurs comme situé entre 0,23 et 0,36 p. 100 d'acides aminés soufrés pour un ingéré de 5,45 kg et une production de 8 porcelets.

2.3.5. Autres acides aminés indispensables

Dans la même optique, EASTER et BAKER (1976) ont pu montrer que la synthèse d'arginine *in vivo* est suffisante pour permettre une rétention azotée optimale en fin de gestation, ce qui prouverait sa dispensabilité dans la ration. Toutefois cette étude n'a été réalisée que sur quelques animaux et pendant une période relativement courte (9 jours). EASTER et BAKER (1977a) justifient la présence d'une teneur minimale en histidine dans la ration de la truie gestante par le fait qu'en cas de carence, le taux d'hémoglobine des porcelets est réduit. En

fin de gestation, EASTER et BAKER (1977b) déterminent, par le bilan azoté, un taux minimum de 0,34 p.100 de leucine dans la ration. Enfin, HAUGHT et SPEER (1977) trouvent une bonne convergence entre la réponse à une supplémentation en isoleucine du régime de lactation du gain de poids du porcelet et de la teneur en isoleucine du sang.

Il faut cependant remarquer que dans presque tous les cas précédemment cités, les effets dûs à une supplémentation en un acide aminé limitant ne sont enregistrés que pour la période correspondante d'étude (gestation ou lactation), ce qui limite leur utilisation pour la détermination des besoins en acides aminés au cours du cycle de reproduction.

3 - Besoins quantitatifs et qualitatifs en matières azotées et couverture des besoins.

3.1. Besoins quantitatifs de matières azotées

Comme il a déjà été souligné, la recommandation de normes alimentaires pour la truie reproductrice ne peut se concevoir que compte tenu des caractéristiques du cycle de reproduction (durée de la lactation, niveau de prolificité).

En gestation, si les besoins de production sont modiques, il s'avère cependant nécessaire de fournir un apport de matières azotées suffisant pour ne pas perturber la lactation qui suit. Par ailleurs, il est nécessaire de fixer l'apport énergétique correspondant au besoin minimum qui correspond à environ 6600 kcal d'énergie digestible par jour (N.R.C. 1973 ; RERAT et DUEE, 1975) fournissant à une truie adulte un gain net de 20 kg environ (A.R.C. 1967 ; RERAT et DUEE, 1975). Dans ces conditions, les différents travaux sur l'effet du taux azoté de gestation sur le gain net maternel, et par conséquent sur le niveau des réserves azotées corporelles, permettent de fixer le besoin à 240-280 grammes de matières azotées par jour suivant les auteurs, soit approximativement 40 g de matières azotées pour 1000 kcal d'énergie digestible. Ces recommandations sont sensiblement plus élevées que celles de VANSCHOUBROEK et VAN SPAENDONCK (1973) ; ces auteurs utilisant la méthode factorielle, préconisent des quantités oscillant entre 124 g (1er mois) et 295 g (dernier mois) pour la première gestation, ces quantités pouvant être abaissées de 5 à 10 % jusqu'à la sixième gestation.

L'utilisation métabolique de l'azote s'améliorant en fin de gestation, quand l'apport protéique n'est pas déficient en un ou plusieurs acides aminés indispensables, il n'y a pas lieu d'augmenter l'apport azoté à cette époque pour couvrir les dépenses foetales accrues, contrairement à ce que préconise l'A.R.C. (1967) dont les recommandations sont, par ailleurs, légèrement plus faibles que celles du N.R.C. (1973).

En lactation, les exigences nutritionnelles des animaux durant cette phase du cycle sont considérables et le niveau spontané de consommation d'aliment ne peut leur faire face. Comme pour la fourniture énergétique, il s'agit d'adapter au mieux l'apport azoté aux besoins de production qui sont variables pour une taille de portée allaitée donnée. Ainsi, selon l'A.R.C. (1967) l'exportation journalière moyenne de matières azotées par le lait est de 360 g pour 8 porcelets et varie de 300 g la première semaine de lactation à plus de 400 g la quatrième semaine. Le besoin en lactation proprement dit varie entre 850 et 1200 g, si l'on se base sur un taux de conversion des protéines alimentaires de 33 % (recommandations de l'A.R.C., 1967). Cependant, les facultés d'utilisation de l'azote alimentaire chez la truie en lactation semblent plus élevées que cela ; le coefficient de rétention de l'azote peut être estimé à plus de 50 %. Dans ces conditions, le besoin de matières azotées ne dépasserait pas 800 grammes par jour, valeur correspondante à celle préconisée par le N.R.C. (1973). Les possibilités de réduction de l'apport azoté de lactation interviennent pour des lactations courtes (21 jours ou moins) ou pour des truies allaitant de faibles portées (inférieures à 8 porcelets) ; dans ces cas particuliers, on peut préconiser un apport quotidien en protéines de l'ordre de 700 grammes. A l'inverse, ce besoin sera accru dans le cas de portée allaitée supérieure à 8 porcelets.

3.2. Besoins qualitatifs

L'état actuel des connaissances ne permet de proposer que des estimations du besoin en acides aminés en gestation et en lactation. Elles figurent dans le tableau 17.

TABEAU 17
ESTIMATION DU BESOIN MINIMUM EN ACIDES AMINES AU COURS DU CYCLE DE REPRODUCTION
(d'après le N.R.C., 1973)

(en % de la ration)	GESTATION	LACTATION
Arginine		0,34
Histidine	0,20 (0,12) (1)	0,26
Isoleucine	0,37	0,67 (0,39) (2)
Leucine	0,66 (0,34) (3)	0,99
Lysine	0,42	0,60
Méthionine + cystine	0,28 (0,18) (4)	0,36
Phénylalanine + tyrosine	0,52	1,00
Thréonine	0,34 (0,42) (5)	0,51 (0,42) (6)
Tryptophane	0,07	0,13 (0,12) (7)
Valine	0,46	0,68
Matières azotées totales	14	15

(1) D'après Easter et Baker (1977a)

(2) D'après Haught et Speer (1977)

(3) D'après Easter et Baker (1977b)

(4) D'après Holden et al. (1971)

(5) D'après Duee (1977)

(6) D'après Lewis et Speer (1975)

(7) D'après Lewis et Speer (1974)

Pour certains acides aminés indispensables (lysine, thréonine), il semble souhaitable d'augmenter l'apport en gestation chez des truies nullipares compte tenu d'un besoin important de fin de croissance (DUEE et RERAT, 1975 ; DUEE, 1977b).

3.3. Couverture des besoins

Le régime des truies, en gestation ou en lactation est classiquement, à base de céréales, accompagnées d'un apport de cellulose et d'un complément protéique.

3.3.1. Les céréales

En gestation comme en lactation, il n'apparaît pas de limites du taux d'introduction de certaines céréales (blé, maïs, orge) dans l'alimentation : celles-ci entrent à des taux supérieurs à 80 % dans des régimes expérimentaux sans en affecter l'appétence (BAKER et al., 1970a ; SALMON-LEGAGNEUR et DUEE, 1972 ; DUEE, 1977b ; O'GRADY et HANRAHAN, 1975 ; YOUNG et al., 1976). L'avoine, par contre, n'est jamais offerte comme céréale unique dans la ration (25-30 p. 100). En gestation, le besoin protéique quantitatif et qualitatif est presque couvert par l'apport unique de céréales : un supplément de lysine et d'azote non essentiel dans le cas général, de tryptophane dans le cas du maïs, de thréonine dans le cas du blé, permet de combler les déficits pour l'animal gravide. Ceci a été montré, en particulier, par HESBY et al. (1972). La supplémentation des protéines de maïs par la lysine ou le remplacement de la céréale par une variété plus riche en matières azotées et en lysine (maïs Opaque 2) améliore les performances des animaux (gain de poids des mères en gestation, poids de portée à la mise-bas) par rapport au témoin recevant uniquement le maïs, sans atteindre, toutefois, les performances réalisées par un lot recevant un régime plus riche en matières azotées (15 p. 100) et en tryptophane (0,2 p. 100). Il n'en est pas de même en lactation où, en sus des matières azotées, la lysine, la thréonine, le tryptophane et probablement les acides aminés soufrés sont limitants dans des régimes uniquement à base de céréales. Par ailleurs, l'utilisation du sorgho, comme source azotée principale dans la ration a été envisagée en gestation comme en lactation (HAUGTH et al., 1977).

3.3.2. Sources cellulosiques

L'apport azoté par les sources classiques de cellulose n'est pas négligeable dans le cas du son de blé et surtout de la farine de luzerne (BAKER, HARMON et JENSEN, 1974a) qui apparaît comme le complément idéal du maïs, mais seulement dans le cas de la gestation.

3.3.3. Complément azoté

3.3.3.1. D'origine végétale

● **En gestation**, le complément azoté (d'un régime céréale + source de cellulose) peut être entièrement apporté par 5 à 10 p. 100 de tourteaux d'huilerie dans la ration (soja, arachide, tournesol), le tourteau de colza devant être limité à 4 p. 100. Les travaux russes sur l'utilisation du pois par la truie gestante (SKORKIN, 1965) ne font pas apparaître d'effets néfastes sur les performances de reproduction lorsqu'un taux de 30 p. 100 est fourni dans la ration. Par contre, des travaux danois (NIELSEN et KRUSE, 1974) portant sur la féverole et son efficacité nutritionnelle pendant tout le cycle de reproduction mettent en évidence une diminution linéaire de la taille de la portée à la naissance et au sevrage, de même qu'une baisse de la production laitière quand on augmente la part de féverole dans l'aliment, résultats non retrouvés par ETIENNE (1977).

● **En lactation**, la demande accrue de nutriments azotés nécessite l'adjonction d'un complément azoté équilibré en acides aminés et à un taux élevé dans la ration (KRACHT et al., 1976 a, b et c).

Il a été montré que le tourteau d'arachide était moins efficace, pendant cette période, que la farine de poisson (SALMON-LEGAGNEUR, 1964a). Des protéines végétales bien équilibrées en acides aminés (tourteau de soja) peuvent couvrir, en complément des céréales, les besoins protéiques des truies allaitantes. La féverole, supplémentée en méthionine, en remplacement total du soja comme complément azoté de l'orge (tableau 18), au taux de 21 p. 100 dans le régime, n'a pas d'effet néfaste sur la production laitière des truies après égalisation des portées à la naissance, ou sur la digestibilité apparente des matières azotées (ETIENNE, DUEE, PASTUSZEWSKA, 1975). Il a été noté, cependant, une certaine inappétence de l'aliment contenant un taux de 30 p. 100 de féverole.

TABLEAU 18

UTILISATION DE LA FEVEROLE PAR LA TRUIE EN LACTATION

(ETIENNE *et al.*, 1975)

COMPLEMENT AZOTE DE L'ORGE	SOJA	FEVEROLE
Production laitière (kg/jour)	6.33	6.28
Nombre de porcelets allaités par portée.	8.8	8.8
Poids des porcelets au sevrage (kg) - 35 jours.	9.05	9.06
Bilan azoté (1) (g/jour).	+ 2.16	- 0.34

(1) Y compris l'azote exporté dans le lait
l'ingéré azoté est, en moyenne, de 112 grammes par jour pour les deux lots.

3.3.3.2. D'origine animale

Peu d'études ont été réalisées sur l'utilisation des sources azotées d'origine animale (farine de poisson, farine de viande) durant le cycle de reproduction des truies. Leur utilisation ne semble pas s'imposer durant la gestation. Mais en lactation, elles peuvent constituer, à des taux relativement faibles (5 p.100), un apport de matières azotées et de lysine, en complément des céréales et d'une source azotée de moins bonne valeur biologique (tourteaux d'arachide et de tournesol) qu'elles permettent d'économiser partiellement.

En définitive, les normes proposées principalement pour ce qui concerne les acides aminés indispensables sont encore incertaines et souvent fondées sur des études ponctuelles (fin de gestation ou durée d'une seule lactation). Il a été établi l'existence de relations nutritionnelles étroites entre la gestation et la lactation. Par ailleurs, les besoins durant le cycle sont fonction de la taille de portée engendrée. De ce fait, la modélisation des besoins en fonction de ce dernier critère devrait prendre en ligne de compte les apports nutritionnels pendant tout le cycle de reproduction.

III - NUTRITION AZOTEE DU PORCELET AU SEVRAGE

Le développement des techniques modernes d'élevage des jeunes porcelets nécessite une clarification du problème de leur alimentation. Ces animaux présentent la caractéristique d'allier de très fortes potentialités de croissance (ARC, 1967) à une grande fragilité vis-à-vis du milieu (aliment + climat). L'apport de protéines dans la ration joue un rôle fondamental dans l'expression de ce potentiel de croissance et doit donc faire l'objet de recommandations. Les premières normes d'alimentation azotée proposées par BECKER et al. (1963) ont été maintes fois revues et corrigées (NRC 1964, 1968, 1973 ; ARC 1967 ; AUMAITRE et SEVE, 1973 ; HENRY, PION et RERAT, 1976). L'objet du présent travail est d'actualiser ces différentes normes et de les adapter notamment aux conditions imposées par le sevrage précoce des porcelets à partir de trois semaines d'âge (AUMAITRE, 1978). Auparavant, compte tenu de nos premières remarques, les formes de l'apport azoté, l'équilibre des acides aminés et la relation protéine-énergie sont autant de facteurs à examiner spécifiquement chez le jeune porcelet.

A - Facteurs de variation de la satisfaction du besoin azoté chez le porcelet au sevrage

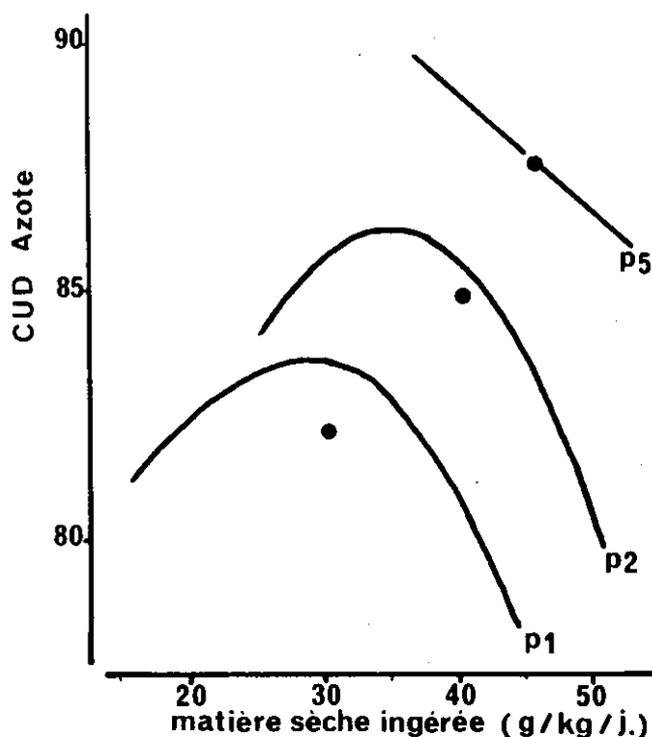
1. Ingestion et digestion des protéines alimentaires

L'apport de protéines à l'organisme du porcelet sevré est d'abord limité par sa consommation d'aliment qui semble liée à ses possibilités de digestion (fig. 1). En effet, il existe probablement un optimum du niveau d'ingestion au-delà duquel l'utilisation digestive diminue ouvrant ainsi la voie à des désordres digestifs (diarrhées). Les déficiences enzymatiques ou sécrétoires qui sont à l'origine de ces troubles ont été maintes fois soulignées (AUMAITRE, 1971). Leur disparition progressive se traduit par une augmentation de l'utilisation digestive apparente des protéines avec l'âge (LLOYD et CRAMPTON, 1957). Ce processus d'adaptation dépend très largement de la nature de la source azotée. C'est ainsi que les protéines de lait sont très bien utilisées dès le sevrage alors que l'adaptation au tourteau de soja est plus lente. Dans ce dernier cas, on peut même parler d'une intolérance de l'animal (BLAIR, 1961), impliquant un taux limite d'incorporation dans l'aliment (AUMAITRE et LAMBERT, 1969).

FIGURE 1

RELATION ENTRE L'UTILISATION DIGESTIVE DE L'AZOTE (y) ET L'INGESTION DE MATIERE SECHE PAR kg DE POIDS VIF (x) CHEZ LE PORCELET SEVRE A TROIS SEMAINES.

$p^1 = 28 \text{ à } 35 \text{ j. d'âge}$	$y = 67,88 + 1,48 x - 0,020 x^2$	$(r = 0,36)$
$p^2 = 35 \text{ à } 40 \text{ j. d'âge}$	$y = 55,37 + 1,60 x - 0,023 x^2$	$(r = 0,44)$
$p^3 = 50 \text{ à } 56 \text{ j. d'âge}$	$y = 98,43 - 0,237 x$	$(r = 0,31)$



Cette observation qui concerne la source azotée ne doit cependant pas entraîner de défiance excessive vis-à-vis des protéines elles-mêmes. La démonstration expérimentale de l'influence de celles-ci sur l'apparition des diarrhées de sevrage n'a jamais pu être faite (KORNEGAY et al., 1974, ARMSTRONG et CLINE, 1976), alors que l'effet d'un niveau alimentaire excessif est souvent montré (PALMER et HULLAND, 1965). En revanche, certaines fractions non azotées de l'aliment (constituants membranaires, amidon) entraînent bien souvent une faible digestibilité apparente des protéines et une dégradation de l'état sanitaire (AUMAITRE, 1974).

Le besoin azoté du porcelet doit donc être satisfait à l'aide de sources de protéines spécifiques. Parmi celles-ci, le lait écrémé est une matière première de choix (PEO, 1964). Cependant, son prix élevé a conduit à la recherche de solutions de remplacement. L'addition de préparation enzymatique à la ration est très généralement inefficace (AUMAITRE, 1974). En revanche, la prédigestion ou solubilisation enzymatique des protéines préalablement à leur ingestion donne des résultats satisfaisants (CLARK et al., 1960, KASPAR et PROKOP, 1971, SEVE et al., 1975). Le traitement enzymatique ne doit cependant pas être inconsidérément allongé car une solubilisation excessive du produit risque d'entraîner une dégradation de l'état sanitaire et des performances (SEVE et al., 1977). Pour des raisons analogues sans doute, l'utilisation d'un mélange d'acides aminés libres ne permet jamais d'obtenir les meilleures performances (DUDLEY et al., 1962).

Un taux limité de produits laitiers dans la ration présentera toujours des avantages bien montrés par les données de la littérature. En effet, une interaction favorable du lait écrémé et d'autres sources de protéines (soja, poisson) a souvent été observée (SMITH et LUCAS, 1956, SEVE et al., 1975). Elle s'explique soit par les propriétés particulières de coagulation gastrique de la caséine, soit par un effet propre du lactose (SEWELL et WEST, 1965). Ces interactions se répercutent sur les performances et l'on peut parler d'un taux optimum d'incorporation de lait écrémé (PEO, 1964) ou de lactosérum (FEVRIER et AUMAITRE, 1972) dans la ration du porcelet sevré précocement. Inversement, la présence d'une source azotée peu digestible dans cette ration favorise le développement de la fonction digestive du jeune porcelet. (CORRING et AUMAITRE, 1977, CRANWELL, 1977, SEVE et al., 1975, STAROVOITOV, 1956). C'est pourquoi l'aliment de sevrage idéal doit renfermer en proportions adéquates des protéines animales (lait, poisson) et des protéines végétales (céréales, tourteaux) de manière à satisfaire aussi bien le besoin nutritionnel que le besoin fonctionnel.

2. Utilisation des acides aminés de la ration. Equilibre et disponibilité.

Le premier effet d'un déséquilibre en acides aminés de la ration est une baisse de l'appétit qui peut être catastrophique dans un régime de sevrage car elle touche la satisfaction du besoin énergétique (cf. déséquilibre en tryptophane, HENRY et PASTUSZEWSKA, 1976, SEVE et al., 1975, 1977). La supplémentation d'un régime mal équilibré par des acides aminés de synthèse se traduira par une augmentation du niveau de consommation due en grande partie à l'effet rétroactif d'une croissance plus rapide (MEADE, 1973 ; KATZ et al., 1973, LOUGNON, 1974). En revanche, certaines données suggèrent que des excès de méthionine (BECKER et al., 1957) ou de lysine (PROKOP, 1973) libres seront préjudiciables à l'appétit des porcelets. Une observation analogue est faite avec l'emploi de plus de 56 % de cystine (en partie libre) pour la satisfaction du besoin en acides aminés soufrés (BAKER et al., 1969). Par contre, malgré l'antagonisme réel entre la leucine et l'isoleucine, il ne semble pas que l'augmentation de leur rapport jusqu'à 2 au moins soit défavorable (OESTEMER et al., 1973 ; HENRY et al., 1976). Mais, il n'en reste pas moins que l'emploi de sources azotées bien équilibrées sera toujours préférable à la supplémentation en acides aminés libres de la ration de sevrage (GALLO et al., 1966 ; MITCHELL et al., 1968).

Parallèlement à l'effet sur la consommation, le déséquilibre en acides aminés influence de manière évidente le gain de poids et la rétention corporelle d'azote. La démonstration d'un déficit est cependant compliquée par le fait qu'il est impératif de corriger les résultats de croissance des effets propres de la digestibilité. C'est la méthode employée par HAYS et al., 1959, qui montrent ainsi que la méthionine est le facteur limitant primaire des protéines de soja pour le jeune porcelet. La détermination du bilan azoté et surtout du coefficient de rétention de l'azote absorbé sont certainement préférables (tableau 19). Les résultats présentés permettent de mettre en évidence le déficit en tryptophane d'un régime à base de protéines solubles de poisson confirmé récemment par un essai de supplémentation (SEVE et al., 1977). Par ailleurs, un taux de 1,35 - 1,36 % de lysine est limitant si l'on emploie des protéines de maïs ou des protéines bactériennes au lieu de protéines de levure. Ces résultats suggèrent des différences importantes de disponibilité des acides aminés (lysine) entre ces diverses sources azotées. Cette disponibilité est probablement responsable d'une grande partie des désaccords portant sur le niveau des besoins. Si l'on tient compte de l'utilisation digestive réelle des acides aminés, le besoin en lysine totale pourrait être plus élevé dans un régime à base d'orge et de tourteau de soja que dans un régime à base de maïs et de farine de poisson rééquilibré en tryptophane (d'après les données de EGGUM, 1973).

TABLEAU 19
COMPARAISON DES EFFETS D'UNE VARIATION DU TAUX DU FACTEUR LIMITANT
SUR LA RETENTION D'AZOTE CHEZ LE PORCELET SEVRE A 3 SEMAINES
(PERIODE 3 à 9 SEMAINES D'AGE)

	CONCENTRE DE PROTEINES SOLUBLES DE POISSON (1)		CONCENTRE DE PROTEINES DE MAIS (2)		PROTEINES D'ORGANISMES UNICELLULAIRES (3)		
					TEMOIN	LEVURE	BACTERIE
Source azotée étudiée	15	21		10		11,6	9
Lait			15	15	15	15	15
Tourteau de soja	11		15	15	13,4	13,4	13,4
Farine de hareng			9	4,7	9,3	—	—
Gain de poids g/j	260 ^a	221 ^b	312	299	269	269	248
C.U.D. Azote %	82,6	84,2	83,6	85,0	85,7 ^a	88,2 ^b	87,8 ^b
Azote retenu g/j	7,7	6,7	9,6	8,6	9,3	9,3	8,5
C.R. azote %	60,4 ^a	51,1 ^b	66,1 ^a	61,5 ^b	68,6 ^a	67,0 ^a	57,7 ^b
Taux % du facteur limitant	0,182	0,145	1,52	1,35	1,47	1,36	1,36
		tryptophane		lysine		lysine	

(1) SEVE et AUMAITRE (1975a)

(2) SEVE et AUMAITRE (1975b)

(3) SEVE (1976)

3. Relation énergie protéines dans la ration de sevrage du porcelet

Deux phases correspondant à des états physiologiques différents doivent être considérées dans cette étude. D'abord une période d'adaptation au milieu et à l'aliment, c'est la période 1er âge (ou prestarter). A ce stade, le niveau d'ingestion spontanée d'aliment est faible et pour des raisons sanitaires, il est souhaitable qu'il n'augmente pas trop vite (NIELSEN, 1976). La période ultérieure, 2ème âge (ou starter) correspond à une croissance compensatrice importante et se prolonge jusqu'au moment de l'entrée en porcherie d'engraissement (25 à 30 kg de poids vif).

a) Période 1er âge (ou prestarter)

Le stress et la restriction alimentaire du sevrage, imposée ou non, s'accompagnent d'une adaptation physiologique de nature hormonale. Ainsi, les métabolismes semblent s'orienter vers le maintien de la synthèse protéique aux dépens des réserves énergétiques (LEIBBRANDT et al., 1975, PROKOP, 1976), même si le besoin de thermogenèse augmente (LE DIVIDICH et al., données non publiées). A cette même période, nous avons observé une corrélation partielle négative entre la rétention d'azote et l'apport d'énergie digestible à niveau constant de matières azotées digestibles. Au contraire, la corrélation partielle rétention azotée - protéines digestibles à niveau constant d'énergie digestible est fortement positive (SEVE et AUMAITRE, 1977). Le rapport protéine/énergie utilisé optimal pour un aliment starter (2ème âge) est donc probablement sous optimal pour un aliment prestarter (1er âge). Ces diverses observations confirment chez le jeune porcelet l'hypothèse selon laquelle le besoin azoté est relativement plus élevé si les porcs sont rationnés (RERAT et LOUGNON, 1966 ; RERAT, HENRY, DESMOULIN, 1971). Ainsi, dans le cas du porcelet sevré à 10 jours, l'emploi d'un taux de protéines élevé (30 % au lieu de 20 %) au cours d'une très courte période après sevrage permet d'augmenter significativement le poids à 8 semaines. Ces résultats présentés au tableau 20 suggèrent que le taux optimal de protéines dans l'aliment 1er âge dépend du mode d'alimentation (ad libitum ou repas), et qu'un besoin journalier de protéines doit être satisfait.

TABEAU 20
EFFETS D'UNE VARIATION DU TAUX AZOTE POST-SEVRAGE
SUR LES PERFORMANCES DU PORCELET EN FONCTION DU NIVEAU D'ALIMENTATION
(SEVE, 1977, non publié)

Séquence des taux azotés (10 - 20 j. de l'aliment 1er âge (20 - 30 j. Aliment 2ème âge (à partir de 30 j.)			20 25 19	30 25 19		
MODE D'ALIMENTATION			REPAS	AD. LIB.	REPAS	AD. LIB.
EXPERIENCE 1 : durée 10-56 j.						
10-42 j.	aliment ingéré	g/j	230	—	232	—
	gain de poids	g/j	188	—	198	—
42-56 j.	gain de poids	g/j	462	—	554 *	—
10-56 j.			272	—	307	
EXPERIENCE 2 : durée 10-70 j.						
10-40 j.	aliment ingéré	g/j	214	265	207	295
	gain de poids	g/j	192	229	196	252
40-70 j.	gain de poids	g/j	414	418	487 *	360
10-70 j.			303	324	341	306

b) Période 2ème âge (ou starter)

Une différence essentielle avec la période précédente est probablement le fait que le porcelet devient capable de compenser partiellement un déficit azoté par une surconsommation d'aliment. La comparaison des résultats de WYLLIE et al. (1969) avec ceux de NIELSEN (1973) montre qu'une telle réponse est sans doute conditionnée par l'emploi de protéines très bien équilibrées (tableau 21). Au poids de 20 kg, parallèlement à l'élévation du taux azoté de la ration, on observe une baisse régulière du taux de lipides corporels, correspondant à une augmentation de la teneur en eau. En revanche, la composition protéique reste sensiblement la même dans l'intervalle 17-31 % de protéines. L'augmentation de la rétention d'azote journalière jusqu'à des taux azotés très élevés de l'aliment rapportée par certains auteurs est quelque peu contradictoire (MULLER et KIRCHGESSNER, 1974, CAMPBELL, 1977). Mais on peut admettre en première approximation que le taux azoté qui permet d'obtenir la vitesse de croissance maximale au cours de cette période 2ème âge coïncide avec l'optimum pour une composition corporelle "équilibrée" des porcelets. Une telle hypothèse est en accord avec les conclusions de LODGE, HARDY et LEWIS (1972), valables pour la période ultérieure (20 à 60 kg de poids vif).

TABEAU 21
EFFETS D'UNE VARIATION DU TAUX AZOTE DE LA RATION SUR LES PERFORMANCES
ET LA COMPOSITION CORPORELLE DE PORCELETS A 20 kg DE POIDS VIF

Taux de protéines	NIELSEN 1973 (1) WYLLIE et al. 1969 (2)	10	14	—	18	22	—	—	
		10	—	17	—	—	24	31	
Gain de poids g/j ingéré g/j.	NIELSEN	161	284	—	336	382	—	—	
	WYLLIE	370	—	401	—	—	401	390	
	NIELSEN	790	798	—	770	704	—	—	
	WYLLIE	910	—	800	—	—	730	700	
Composition corporelle %	eau	NIELSEN	48,5	57,4	—	63,1	67,3	—	—
		WYLLIE	56,9	—	62,4	—	—	68,0	69,8
	protéines	NIELSEN	11,2	13,8	—	16,8	16,0	—	—
		WYLLIE	12,9	—	14,4	—	—	16,0	16,5
	lipides	NIELSEN	37,5	25,7	—	17,2	13,9	—	—
		WYLLIE	27,1	—	20,3	—	—	12,8	10,8

(1) Qualité des protéines s'améliorant avec le taux de protéines

(2) Qualité des protéines constante et satisfaisante quel que soit le taux de protéines.

Les résultats de LEIBBRANDT et al. (1975) confirment qu'on doit surtout parler de rapport protéine/énergie optimal (tableau 22) comme le proposent également SEWELL et al., 1961, MANNERS et Mc CREA, 1963, AUMAITRE et SALMON LEGAGNEUR (1964).

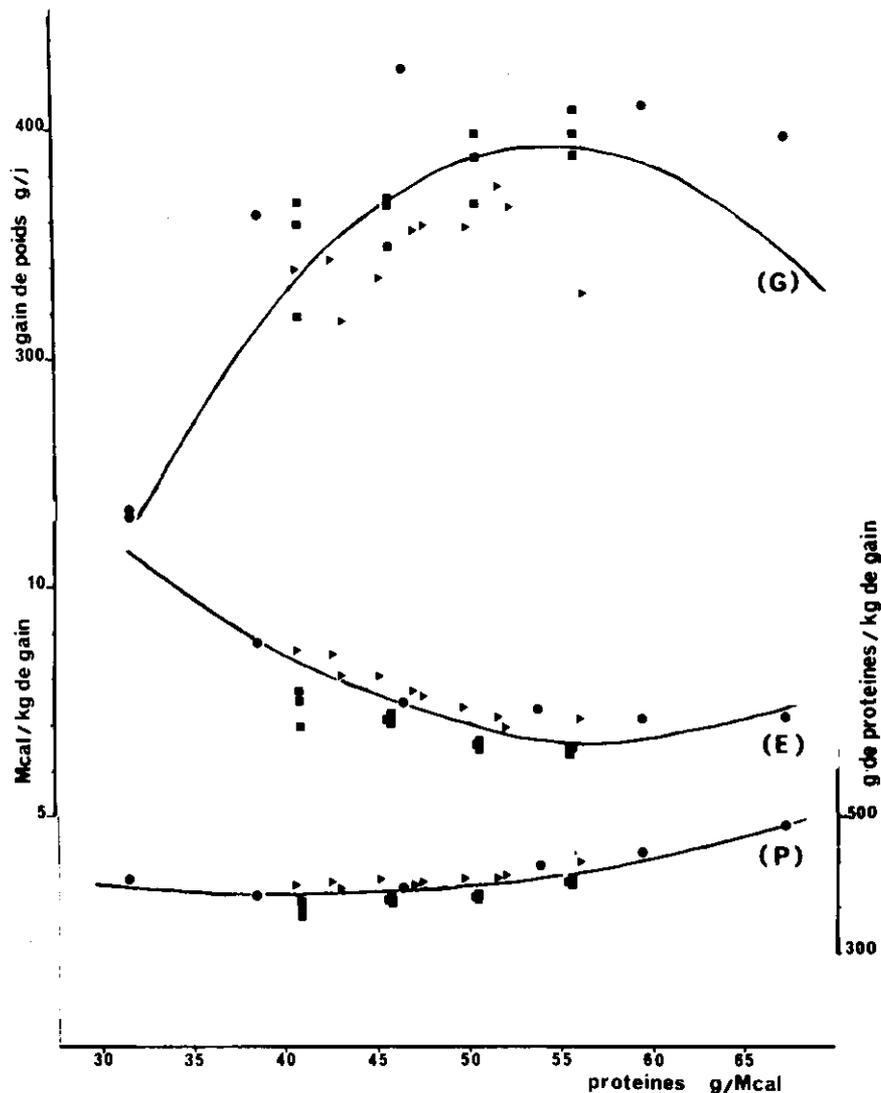
TABLEAU 22
INFLUENCE DU RAPPORT PROTEINES/ENERGIE SUR LA CROISSANCE
ET LA COMPOSITION CORPORELLE DU PORCELET

(LEIBBRANDT et al., 1975)

	1	2	3	4	5
PROTEINES	20,6	20,6	20,6	22,4	24,4
PROTEINES BRUTES (1) g/Mcal énergie brute	48,1	43,9	40,4	47,5	47,4
Gain de poids g/j	323	310	272	308	264
Aliment ingéré g/j	473	410	343	401	314
Indice de consommation	1,46	1,34	1,28	1,32	1,20
Dépense calorique Mcal/kg de gain	6,25	6,29	6,53	6,22	6,18
Dépense azotée kg/kg de gain N x 6,25	0,301	0,276	0,264	0,296	0,293
Composition corporelle à 46 j : Protéines %	16,1	15,9	15,2	15,6	15,4
Graisses %	12,0	14,1	14,3	12,9	12,3

(1) A taux de protéines constant, la variation de ce rapport est obtenue grâce à l'addition de 7,5 (régimes 2 et 4) ou 15 % de matières grasses (régimes 3 et 5).

FIGURE 2
INFLUENCE DU RAPPORT PROTEINES/ENERGIE DE LA RATION DE SEVRAGE PRECOCE
SUR LE GAIN DE POIDS ET LES DEPENSES CALORIQUES ET PROTEIQUES PAR kg DE GAIN
D'après MEADE et al., 1965 (●), MEADE et al., 1969 (▴) et MEADE, 1973 (■)



Si la ration est concentrée, elle doit l'être aussi bien en énergie qu'en protéines afin que les dépenses protéiques et énergétiques par kg de gain et la composition corporelle ne varient pas. L'influence de la concentration en énergie de la ration à rapport protéine/énergie constant sur le niveau de consommation et la croissance soulignent l'existence d'un taux énergétique optimum de la ration (HENRY, ETIENNE, 1978). Les données de MEADE (1965, 1969, 1973) obtenues avec des rations à taux minima de matières grasses sont bien représentatives des études de détermination du besoin azoté du porcelet (fig. 2). L'optimum du rapport protéine/énergie correspond au minimum de la dépense énergétique par kg de gain obtenu après une élévation quasi-linéaire de la dépense protéique. Cette observation de caractère général (RERAT et HENRY, 1964) suggère la possibilité d'un calcul économique de l'optimum protéine/ énergie en fonction du rapport de prix entre ces deux éléments fondamentaux de la ration.

c) Influence de l'alimentation azotée post-sevrage (1er et 2ème âge) sur les performances ultérieures

Cette question a fait l'objet de nombreux travaux aux résultats souvent contradictoires. On peut en retenir très généralement que les retards de croissance observés à 8 ou 10 semaines d'âge ne s'accroissent plus ou diminuent parfois grâce à des effets de compensation. Les différences de composition corporelle observées à 20 ou 25 kg de poids vif tendent à disparaître si les porcs sont alimentés ultérieurement ad libitum (MEADE et al., 1969 ; WYLLIE et al., 1969). Ces derniers auteurs retrouvent cependant au poids final d'abattage un effet non négligeable de l'abaissement du taux azoté post-sevrage sur la teneur finale en lipides du muscle (longissimus dorsi). Si on applique au cours de l'engraissement un plan de rationnement, les carcasses les plus maigres à l'abattage correspondent aux animaux qui recevaient dans l'aliment starter le taux de protéines le plus élevé (NIELSEN, 1973). Toutefois, ce résultat obtenu avec des porcelets conventionnels semble remis en question lorsqu'on utilise des animaux SPF notamment s'ils sont issus de croisements et élevés dans des conditions modernes (Flat-deck, cages etc...), (NIELSEN, 1973 ; KNOBLOCH et al., 1975). Ces observations conduisent à se demander si l'application des plans de rationnement ne doit pas débiter plus précocement chez un animal à croissance rapide. Des études complémentaires sont actuellement indispensables pour préciser nos connaissances sur cette question.

B - Niveaux des besoins azotés

Les facteurs de variations que nous venons d'exposer, s'ils prennent une signification particulière dans le cas du jeune porcelet, impliquent des modes d'expression du besoin azoté analogues à ceux qui ont été proposés pour les autres stades de la croissance. L'idéal serait en effet de rechercher un besoin journalier (RERAT et LOUGNON, 1966) en acides aminés digestibles (NIELSEN, 1976), puis de recommander une ration telle que ce besoin puisse être satisfait. Pour cela, l'expression du taux de chacun des acides aminés, par unité d'énergie digestible (HENRY, PION et RERAT, 1976) est probablement la plus appropriée. Malheureusement, les données de la littérature sont actuellement trop disparates pour cela. Il semble, en revanche, que l'on puisse définir pour le porcelet un équilibre optimum des protéines correspondant à un pourcentage donné de chacun des acides aminés dans celles-ci. Dans un deuxième temps, il est alors possible de recommander des taux de protéines équilibrées en fonction du poids de l'animal ou de l'âge au sevrage.

1. Equilibre des acides aminés : recherche d'un taux optimum dans les protéines alimentaires

a) Lysine

MITCHELL et al. (1965) obtiennent des vitesses de croissance maximales pour des taux de lysine variant entre 1,2 et 1,5 % dans des rations à 22 % de protéines distribuées à des porcelets de 4 à 5 kg. Avec des porcelets du même poids, PROKOP (1973) propose 1,46 % d'un régime à 19 % de protéines, alors que HUTCHINSON et al. (1957) trouvaient 0,935 % d'une ration à 15 % de matières azotées. Au poids de 5 kg, le taux optimum de lysine dans les protéines serait donc compris entre 6,2 et 6,8 %.

MITCHELL et al. (1968) estiment le besoin du porcelet de 10 kg à 0,81 – 0,86 % d'un aliment à 22 % de protéines. Cependant cette détermination faite avec un régime semi-synthétique (caséine, amidon et mélange d'acides aminés) est certainement minimale et de portée pratique limitée. Mc WARD et al. (1959) établissent que le besoin exprimé en pourcentage des protéines de la ration (g) diminue avec le taux de protéines

(x) de l'aliment selon l'équation $g = 7,23 - 0,131 x$. Récemment, SCHULER et al. (1976) montraient sur un grand nombre d'animaux une relation linéaire entre le besoin (y) exprimé en pourcentage de la ration et son taux de protéines (x) ($y = 0,28 + 0,0705 x$). Ces données correspondent au contraire à une légère augmentation du taux optimum de lysine exprimé en pourcentage de la protéine en fonction du taux de cette protéine (de 5,2 à 5,6 % entre 15 et 19 % de protéines). Nous retiendrons ces dernières estimations qui correspondent mieux aux conditions françaises quant aux régimes et au type d'animal utilisé dans le cas du porcelet de 12 kg.

b) Acides aminés soufrés

Contrairement au cas de la lysine, il semble que le taux optimal d'acides aminés soufrés dans les protéines varie peu avec le poids ou l'âge du porcelet en accord avec RERAT et LOUGNON (1966). L'estimation de PROKOP chez le porcelet de 5 kg (0,69 % d'une ration à 19 % de protéines) diffère peu de celle de MITCHELL et al., (1968) (0,74 % d'un aliment à 22 % de protéines) ou de celle de CURTIN et al., (1952) (0,72 %) obtenues chez des porcelets de 10 et 13,6 kg respectivement.

De même, à 12 et 12,7 % de la protéine, BECKER et al. (1955) utilisant des porcelets de 12,7 kg puis KROENING et al., 1961 avec des porcelets de 3,7 kg, retrouvent un même taux optimum de 0,42 % d'acides aminés soufrés dans la ration. Dans ces conditions, il est logique d'estimer le besoin en pourcentage des protéines et nous admettons le chiffre moyen de 3,4 g/16 g d'azote. L'ensemble des données disponibles et notamment celles de BAKER et al. (1969) suggère d'éviter plus de 55 % de cystine dans cet apport.

c) Tryptophane

Chez le porcelet de 5 à 6 kg, deux estimations récentes du besoin en tryptophane sont en profond désaccord. ZIMMERMAN (1975) détermine un taux optimum de 0,15 % dans un aliment à 18,8 % de protéines alors que LEWIS et al., 1977 retiennent le chiffre de 0,215 % au même taux azoté. Ces différences proviennent peut-être du niveau des performances (consommation et croissance) plus élevées dans le premier cas. Quoi qu'il en soit, en l'état actuel de nos connaissances, nous admettons avec GALLO et POND (1966) que le taux optimum de tryptophane dépend du taux de protéines et peut être estimé en pourcentage de celles-ci. Le chiffre suggéré par ces auteurs (0,9 à 1 g/16 g d'N) diffère très peu de la moyenne de l'ensemble des données recueillies chez le porcelet de 5 kg et peut être proposé comme norme.

Comme dans le cas de la lysine, on observe une diminution du taux optimal de tryptophane dans la ration et dans les protéines avec l'âge du porcelet. Ainsi, chez le porcelet de 11,2 kg, 0,15 % de tryptophane semble suffisant dans les régimes utilisés par MITCHELL et al. (1968). BECKER et al., 1955, trouvent des taux optima de 0,115 et 0,155 % dans des rations à 15,4 et 19,6 % de protéines respectivement. Ces estimations permettent de calculer un besoin de 0,76 % des protéines de la ration pour le porcelet de 12 kg. Compte tenu de l'approximation faite et de l'insuffisance des données, nous proposons de considérer 0,8 % comme une norme raisonnable.

d) Thréonine

Parmi les rares estimations publiées, celle de MITCHELL et al., (1968) (0,60 % d'un aliment à 22 % de protéines) se distingue par sa faible valeur (2,8 g/16 g d'N). SEWELL et al. (1953) trouvaient un taux optimal de 0,92 % de thréonine dans une ration à 25 % de protéines pour des porcelets de 2 kg (3,7 g/16 d'N). Avec des porcelets de 12 kg, BEESON et al. (1953) utilisent des rations à 13,2 % de protéines et trouvent 0,46 %, soit 3,7 g/16 g d'N. En considérant les données d'HENRY et RERAT (1970) obtenues chez le porcelet de 20 kg (optimum calculé de 3,8 g/16 d'N), on peut admettre d'une part que le taux optimum de thréonine peut être exprimé en pourcentage des protéines de la ration et d'autre part qu'il ne varie pas significativement avec le poids ou l'âge des porcelets. La valeur de 3,7 g de thréonine/16 g d'azote peut donc être proposée très provisoirement comme norme.

e) Isoleucine et leucine

Chez le porcelet de 5 kg, BECKER et al. (1963) déterminent un taux optimum de 0,77 % d'isoleucine dans un aliment à 22 % de protéines. OESTEMER et al. (1973) proposent au même stade de la croissance 0,52 % d'un régime à 14,4 % de protéines. Ces deux estimations permettent de calculer un besoin de 3,5 à 3,6 % d'isoleucine dans les protéines de la ration du jeune porcelet.

A un poids plus élevé, BECKER et al., 1957 établissent une relation entre le taux optimal (y) exprimé en pourcentage des protéines et le taux de protéines de la ration (x) ($y = 4,5 - 0,072x$) à l'aide d'aliments à 13,35 et 26,7 % de protéines. Bien que l'une des données de MITCHELL et al. (1968) puisse être recalculée ainsi, la linéarité de la relation n'est pas assurée. En attendant d'autres études, la valeur la plus élevée de BECKER et al. (1957), soit 3,4 g/16 g d'N peut être proposée comme norme. Nous admettrons donc une légère diminution du taux optimum d'isoleucine dans les protéines avec l'âge du porcelet.

Le taux optimum de leucine trouvé par EGGERT et al. (1954) pour le porcelet de 2,7 kg est de 1,25 % d'un régime à 25 % de protéines. Chez le porcelet de 10 kg, on ne dispose que de la détermination de MITCHELL et al. (1968) soit 0,84 % d'une ration à 22 % de matières azotées. En admettant une diminution régulière du besoin exprimé en pourcentage des protéines avec le poids des animaux, les chiffres de 4,5 g/16 g d'N et 4 g/16 g d'N peuvent être proposés respectivement pour le porcelet de 5 et 10 à 12 kg de poids vif. Malgré l'absence d'effets dépressifs de rapports leucine/isoleucine variant de 2 à 3, nous proposons la valeur 2 comme une limite à ne pas dépasser si le taux de protéines de la ration est élevé (supérieur à 20 %).

f) Autres acides aminés essentiels

Ces autres acides aminés essentiels ne constituent pratiquement jamais des facteurs limitants dans les rations de sevrage et pour cette raison très peu de travaux y sont consacrés. Les données de JACKSON et al. (1953) et celles de MITCHELL et al. (1968) permettent de proposer un chiffre optimal de 3,0 g de valine, 16 g d'N. ROBBINS et BAKER (1977) proposent d'augmenter la norme NRC des acides aminés aromatiques totaux jusqu'au taux de 0,79 % d'une ration à 18 % de protéines, soit 4,4 g/16 g d'N. Enfin, en ce qui concerne l'arginine et l'histidine, nous en resterons aux chiffres proposés par BECKER et al. (1963) qui correspondent sensiblement à 1,7 et 1,6 g/16 g d'N respectivement.

2. Couverture des besoins en acides aminés. Taux de protéines optima dans les aliments

Au tableau 23 figurent les recommandations pour l'équilibre des acides aminés essentiels totaux dans les protéines alimentaires, à deux stades de la vie du porcelet. Les informations données par les différents auteurs (types d'aliments et âges au sevrage) permettent de proposer ces deux séries de normes pour les aliments 1er âge et 2ème âge des porcelets sevrés à 3 semaines.

TABLEAU 23

EQUILIBRE OPTIMAL DES PROTEINES DE LA RATION A DEUX STADES DE LA CROISSANCE
COMPARAISON AVEC QUELQUES SOURCES AZOTEES

POIDS	5 à 10 kg		10 à 20 kg		LAIT	FARINE de HARENG	TOURTEAU de SOJA
	g/16gN	% de AAi	g/16gN	% de AAi (2)			
Lysine	6,50	16,15	5,50	14,50	16,35	17,90	14,75*
Méthionine + cystine	3,40	8,45	3,40	8,95	6,75*	8,85	7,35*
Thréonine	3,70	9,20	3,70	9,75	8,85	9,55	9,30
Tryptophane	0,95	2,35	0,80	2,10	2,20	2,00*	2,85
Isoleucine	3,60	8,95	3,30	8,70	11,05	10,00	11,35
Leucine	4,50	(13,40)	4,00	13,20	16,55	15,00	17,00
Valine	3,00	(15,40)	3,00	16,30	13,80	12,20	12,00
Phénylalanine + tyrosine	4,40	(12,00)	4,40	(12,00)	(12,00)	(12,00)	(12,00)
Arginine	1,70	(7,30)	1,70	(7,30)	(7,30)	(7,30)	(7,30)
Histidine	1,60	(6,70)	1,60	(7,10)	(5,60)	5,20	6,10

(1) Corrigée d'après Toullec et al., 1973 : Leucine = 1,5 isoleucine ; phénylalanine + tyrosine = 0,12 AAi ; Arginine = 0,073 AAi.

(2) Corrigée d'après Toullec et al., 1973. De plus, les teneurs en valine et en histidine sont remplacées par celles du lait de truie (6,2 et 2,7 g/16 g d'N respectivement d'après DUEE et JUNG, 1973).

* Acides aminés limitants.

Cependant, il importe de souligner le caractère provisoire de certaines estimations faites dans des conditions variées et sur des types d'animaux différents de ce que nous connaissons en France. L'expression de l'équilibre optimal des protéines par le taux de chaque acide aminé en pourcentage de la somme des indispensables et semi-indispensables permet de juger l'aptitude d'une source azotée à satisfaire les besoins (PION et al., 1963). Pour cela, il importe de corriger cette somme des grosses variations dues aux acides aminés essentiels les plus abondants (TOULLEC et al., 1973). Dans le cas du besoin des porcelets, nous proposons une méthode de correction qui efface les écarts provenant des acides aminés essentiels les moins limitants de manière à mieux appréhender les déséquilibres dus aux autres (tableau 24). Un tel calcul permet de mettre en évidence les déficits respectifs du lait (acides aminés sulfurés) du tourteau de soja (acides aminés sulfurés + lysine) et de la farine de hareng (tryptophane) par rapport à l'équilibre proposé pour l'aliment 1er âge.

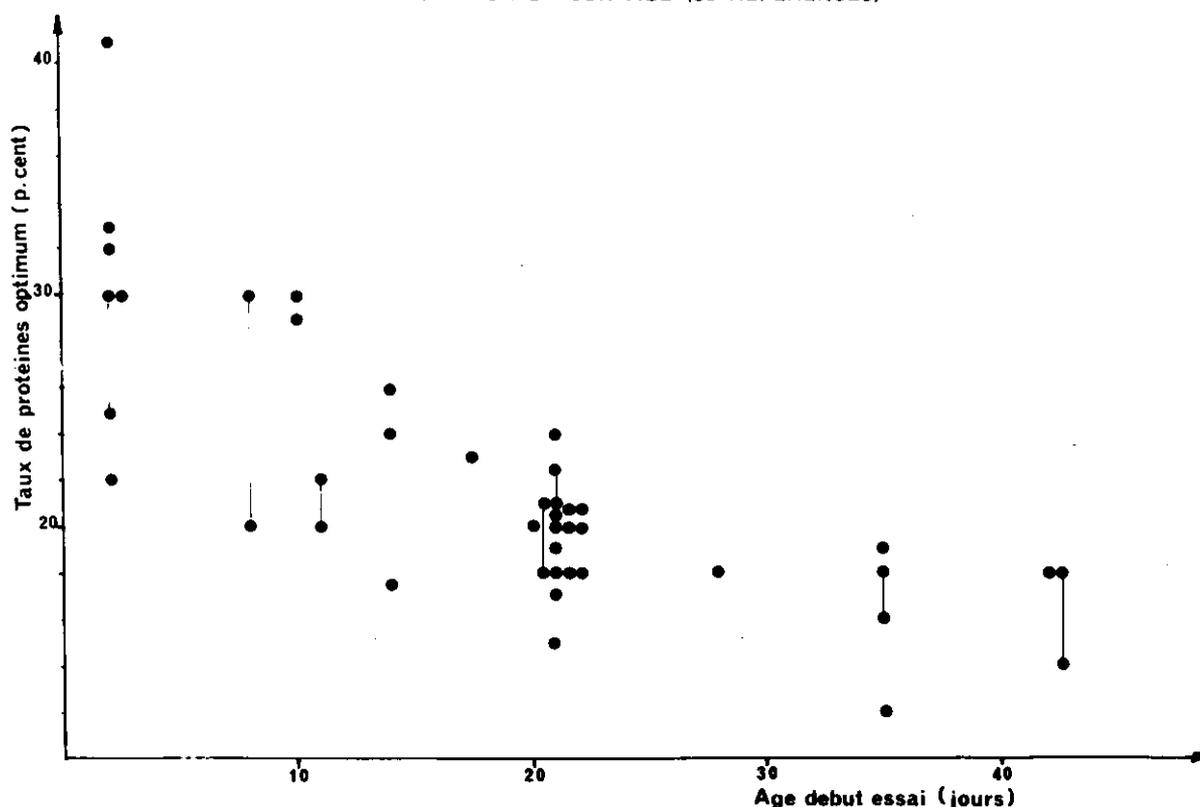
TABLEAU 24

RECOMMANDATIONS POUR LES TENEURS EN ACIDES AMINES TOTAUX DES RATIONS
A DEUX STADES DE LA CROISSANCE. COMPARAISONS AUX DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

	5 à 10 kg			10 à 20 kg		
	DONNEES PRESENTES	NRC 1973	ACIDES DIGESTIBLES (NIELSEN, 1976)	DONNEES PRESENTES	NRC 1973	HENRY PION RERAT 1976
Taux de protéines	22			18		
Lysine	1,40	0,96	1,0	1,0	0,79	1,0
Méthionine + cystine	0,75	0,69	0,56	0,60	0,56	0,55
Thréonine	0,80	0,62	0,49	0,65	0,51	0,50
Tryptophane	0,20	0,18	0,13	0,15	0,15	0,15
Isoleucine	0,80	0,69	0,75	0,60	0,56	0,55
Leucine	1,00	0,83	1,00	0,70	0,68	0,65
Valine	0,65	0,69	0,67	0,55	0,56	0,55
Phénylalanine	0,95	0,69	0,61	0,80	0,56	0,55
Arginine	0,35	0,25	—	0,30	0,23	0,22
Histidine	0,35	0,28	—	0,30	0,20	0,20

FIGURE 3

EVALUATION DU TAUX OPTIMUM DE PROTEINES DANS LA RATION DU PORCELET
EN FONCTION DE SON AGE (35 REFERENCES)



Le besoin quantitatif de protéines a fait l'objet d'un grand nombre d'études dont les résultats sont représentés à la figure 3. Le taux optimum de protéines dans l'aliment diminue naturellement avec l'âge et le poids du porcelet. Ces données permettent de proposer des normes de teneurs en acides aminés en pourcentage de l'aliment qui figurent au tableau 24 aux deux périodes considérées. Comparativement à nos chiffres, les normes NRC pour les porcelets de 5 à 10 kg sont généralement plus basses. On peut, à notre sens, les considérer comme minimales car souvent basées sur des essais de supplémentation de régimes semi synthétiques distribués à volonté. De la même façon, les recommandations danoises (NIELSEN et al., 1976) de teneurs minimales des rations de sevrage en acides aminés digestibles sont critiquables car elles postulent l'équivalence digestibilité disponibilité. De plus, les informations sur l'utilisation digestive des acides aminés (EGGUM, 1973) sont encore notoirement insuffisantes chez le jeune porcelet. En revanche, en ce qui concerne le porcelet de 10 à 20 kg nos données sont en bon accord avec les normes proposées par HENRY, PION et RERAT (1976).

On peut également considérer que les normes doivent être adaptées en fonction de l'âge au sevrage, les consommations d'aliment au même poids étant différentes. Le tableau 25 résume nos recommandations quant aux divers taux de protéines à utiliser dans différents cas. Il est également suggéré de relever les chiffres dans le cas où les porcelets seraient rationnés, étant entendu que ces dernières propositions requièrent des vérifications expérimentales supplémentaires.

TABLEAU 25

PROPOSITION D'UN TAUX OPTIMUM DE PROTEINES DANS LA RATION DU PORCELET
EN FONCTION DE L'AGE AU SEVRAGE

AGE AGE AU SEVRAGE (j)	10 - 20	20 - 30	30 - 56	56 et +
10 - 15	R 30 AL 25	sR 22 AL 20	18	16 - 18
20 - 25	—	R 23 AL 20	19	16 - 18
35	—	—	19	16 - 18

R = rationné
sR = semi ad-libitum
AL = ad libitum

En définitive, s'il est possible de faire des recommandations pour l'alimentation azotée des porcelets, dès le poids de 5 kg, de nombreux points restent à préciser. Rappelons d'abord que des études complémentaires devraient permettre une expression plus générale des besoins (besoins journaliers en acides aminés disponibles et rapport de chacun à l'énergie digestible). A cet égard, le développement actuel du sevrage précoce et l'examen des données bibliographiques confèrent un caractère prioritaire aux recherches sur le besoin des porcelets au cours de la phase de récupération suivant immédiatement le stress du sevrage. L'influence éventuelle du mode d'alimentation (repas ou à volonté) sur l'équilibre optimal des acides aminés de la ration a été notamment négligée jusqu'ici. Un tel travail permettrait sans doute de proposer des normes variables pour des animaux sevrés encore plus tôt (10 jours ou 3 kg de poids vif) sur des régimes secs. En plus du gain de poids ou de l'indice de consommation, la méthodologie devrait retenir des critères plus fins tels que le bilan azoté ou l'aminoacidémie et inclure des observations sur la croissance pondérale et tissulaire ultérieure des animaux dans diverses hypothèses de conduite du troupeau (changements d'habitats et de mode d'alimentation successifs). En effet, malgré l'atténuation considérable des effets de l'alimentation post-sevrage sur l'état d'engraissement de la carcasse, l'exploitation trop précoce du potentiel de croissance du porc pourrait être remise en question. On peut ajouter d'ailleurs que dans l'état actuel de nos connaissances (besoins en minéraux ou vitamines ?), le bon état sanitaire des porcelets n'est pas toujours compatible avec une vitesse de croissance maximale.

IV - NUTRITION AZOTEE DU PORC EN CROISSANCE

Succédant à une phase d'adaptation où la nature du régime consommé par l'animal se modifie complètement, le porc débute une période dite de "croissance et finition" ou d'engraissement pendant laquelle il réalise cependant la quasi totalité du dépôt de tissu musculaire. En effet, la synthèse protéique que l'on apprécie d'après

les quantités d'azote retenu continue régulièrement d'augmenter depuis la naissance jusqu'à un stade voisin de 35 kg de poids vif. Puis, les dépôts en protéines restent relativement constants et se stabilisent à un niveau qui est fonction principalement de la lignée génétique et du sexe de l'animal. Dans certains cas, cependant, cette stabilisation est retardée. Cette stabilisation de l'azote retenu après 30 kg de poids vif ne signifie certainement pas que l'intensité des processus d'anabolisme et de catabolisme reste immuable. Elle pourrait vraisemblablement correspondre à une diminution équivalente de l'intensité des deux phénomènes, si l'on transpose les résultats d'ARNAL (1977) acquis sur l'agneau.

Par ailleurs, la composition en acides aminés des protéines corporelles de l'animal paraît relativement constante durant cette période (WILLIAMS et al., 1954 ; GRUHN, 1965).

Cette phase de croissance du porc se traduit donc, par un dépôt relativement constant d'énergie sous forme de protéines (5-600 kcal par jour environ) Par contre, le dépôt énergétique journalier, sous forme de lipides, s'accroît au fur et à mesure du déroulement de la période. En définitive, l'objectif sera, à un stade donné, de favoriser la rétention azotée maximale, tout en limitant la synthèse de tissus gras. Il s'agit, à cet égard, de définir l'équilibre nutritionnel optimal permettant cette régulation satisfaisante des dépôts, pour une souche d'animaux donnée.

Nous rappellerons, dans ce chapitre, les conclusions récentes de HENRY, PION et RERAT (1976) qui précisent les recommandations dans ce domaine. Nous avons souligné, dans la première partie, l'hétérogénéité des modes d'expression du besoin en acides aminés ; elle se concrétise, principalement, durant cette période. En outre, les conditions d'obtention de ces normes sont variables, compte tenu d'une hétérogénéité dans le mode d'alimentation des animaux, dans la teneur énergétique de leur régime ou dans leur niveau de performances.

1. Recommandations d'apports en acides aminés indispensables et en matières azotées totales, dans le cas d'une alimentation libérale.

D'une manière générale, l'estimation du besoin des principaux acides aminés, qui risquent d'être limitants dans le type de régimes utilisés (thréonine, méthionine) a été obtenue avec une bonne précision, tout au moins dans la période initiale de la croissance (20 à 50 kg de poids vif). On remarquera cependant que pour la lysine (tableau 26) la différence est marquée entre l'estimation américaine (2,12 g/Mcal d'énergie digestible) et l'estimation européenne (2,53 g/Mcal d'énergie digestible).

TABLEAU 26

BESOINS EN ACIDES AMINES DU PORC EN CROISSANCE (1) (20 - 50 kg)
(RECOMMANDATIONS EN g/Mcal D'ÉNERGIE DIGESTIBLE)

REFERENCES	N.R.C. (1973)	A.R.C. (1967)	RERAT et LOUGNON (1966) (2)	HENRY, PION, RERAT (1976)
Arginine	0,61	—	—	0,6
Histidine	0,54	—	0,63	0,55
Isoleucine	1,51	2,10	1,58	1,50
Leucine	1,82	—	2,09	1,80
Lysine	2,12	2,53	2,00	2,50
Méthionine + Cystine	1,51	1,68	1,46	1,50
Phénylalanine + Tyrosine	1,51	—	1,16	1,50
Thréonine	1,36	1,40	1,40	1,45
Tryptophane	0,39	0,42	0,45	0,45
Valine	1,51	—	1,37	1,50

(1) Valeurs moyennes pour femelles et mâles castrés.

(2) En alimentation libérale.

Il faut rappeler, à ce propos, que les valeurs énergétiques des régimes préconisés par le N.R.C. (1973) ou l'A.R.C. (1967) diffèrent (3300 Kcal d'ED par kg dans le premier cas contre 3100 dans l'autre). Cette divergence traduit une différence d'objectifs de production : la production de porcs maigres en Europe, implique, en particulier, une réduction de l'ingéré énergétique d'environ 30 % par rapport aux conditions d'alimentation américaines. Il en résulte un accroissement du pourcentage d'énergie fixée sous forme de protéines et, par conséquent, une augmentation du besoin relatif en certains acides aminés. Dans le tableau 27, sont consignées les recommandations

pour la période de finition (50 à 100 kg de poids vif). Durant cette phase, les normes du N.R.C. (1973) font apparaître une diminution importante des besoins en acides aminés indispensables et particulièrement du besoin en lysine quand on les exprime en pourcentage de la ration ou relativement à l'énergie.

TABLEAU 27
BESOINS EN ACIDES AMINÉS DU PORC EN CROISSANCE (1) (50 - 100 kg)
(RECOMMANDATIONS EN g/Mcal D'ÉNERGIE DIGESTIBLE)

REFERENCE	N.R.C. (1973)	RERAT et LOUGNON (1966) (2)	HENRY, PION et RERAT (1976)
Arginine	0,48	—	0,5
Histidine	0,45	0,48	0,45
Isoleucine	1,24	1,40	1,25
Leucine	1,45	1,70	1,45
Lysine	1,73	1,61	2,00
Méthionine + Cystine	1,24	1,22	1,30
Phénylalanine + Tyrosine	1,24	0,90	1,20
Thréonine	1,12	1,10	1,10
Tryptophane	0,33	0,39	0,35
Valine	1,24	1,10	1,20

(1) Valeurs moyennes pour femelles et mâles castrés.

(2) En alimentation libérale.

Cependant, le manque de données expérimentales, concernant le besoin en certains acides aminés indispensables ne permet pas de confirmer ou d'infirmer les propositions américaines.

Pour ce qui concerne la fourniture globale de matières azotées, qui correspond à la satisfaction d'un besoin en azote indifférencié, il semble, dorénavant, admis qu'un taux minimum de 48 grammes de protéines par 1000 kcal d'énergie digestible (16 % de la ration) soit nécessaire durant la période de 20 à 60 kg, que l'on peut baisser à 40 g (13 à 14 %) pendant la période de finition.

2. Réajustement de ces besoins suivant certains paramètres

Si les normes précédentes ont été établies dans des conditions libérales d'alimentation, la restriction du niveau alimentaire s'accompagne non seulement d'une diminution des apports énergétiques (dans le but de diminuer le dépôt de tissus gras) mais également d'une réduction des apports protéiques. Dans le but de conserver le même niveau de production de tissus maigres, on peut se demander si un réajustement des normes, dans ces conditions alimentaires, n'est pas souhaitable. Il semble, en effet, que le besoin journalier en acides aminés augmente linéairement en fonction du poids vif et est sensiblement le même pour les deux modes d'alimentation (RERAT et LOUGNON, 1966). Ceci est particulièrement vrai jusqu'à un poids vif de 50 kg. Cependant, une telle augmentation, relative à l'énergie, provoque un apport excessif de certains acides aminés. Ainsi, entre 20 et 60 kg, un réajustement de 10 % du taux azoté suffirait pour compenser une réduction de 20 % de l'apport alimentaire global (RERAT et al., 1971). De toute façon, l'élévation intempérée du taux de matières azotées dans la ration induit une diminution des dépôts gras dans la carcasse, ce qui respecte l'objectif fixé préalablement mais qui rend difficile le choix d'un taux optimum dans ces conditions alimentaires.

Il est vraisemblable, par ailleurs, que la décision doit être différente suivant le "sexe" de l'animal, qui représente, en effet, un autre facteur de réajustement des normes.

HENRY et BOURDON (1976) constatent ainsi que le taux optimum de matières azotées, relatif à l'énergie, n'est pas très différent, dans les diverses conditions d'alimentation, pour les mâles castrés, ce qui n'est plus vrai pour les porcs femelles.

A cet égard, HENRY, PION et RERAT (1976) proposent (tableau 28) une augmentation de l'apport en certains acides aminés indispensables (les plus limitants dans le type de régime utilisé) pour satisfaire un besoin relatif accru chez les femelles. Ceci est la conséquence d'une modification de la composition corporelle entre les deux types d'animaux. Par ailleurs, l'on sait que le niveau spontané de consommation des femelles est plus faible que celui des mâles castrés.

TABLEAU 28

VARIATION DES BESOINS EN ACIDES AMINES SUIVANT LE SEXE

(d'après HENRY, PION et RERAT, 1976)

en g/Mcal D'ENERGIE DIGESTIBLE	FEMELLES	MALES CASTRES
Lysine	2,9	2,5
Méthionine + Cystine	1,53	1,37
Thréonine	1,45	1,3

Un réajustement des normes se pose également si l'on veut tenir compte du type génétique utilisé et, plus généralement, de l'intensité de croissance recherchée donc, de la vitesse du dépôt de tissus maigres espérée.

Dans cette optique, les données de WIESEMULLER (1976), présentées dans le tableau 29, soulignent un besoin moyen en lysine beaucoup plus élevé pour un type de porcs à croissance rapide.

TABLEAU 29

MODELISATION DU BESOIN EN LYSINE SUIVANT L'INTENSITE DE CROISSANCE

(selon WIESEMULLER, 1976)

NIVEAU DE CROISSANCE (g/jour)	DUREE D'ENGRAISSEMENT POUR UN GAIN DE 80 kg (jours)	DEPOT PROTEIQUE (g/jour)	DEPOT DE LYSINE (g/jour) (1)	BESOIN EN LYSINE (g/jour) (2)
500	160	62,5	4,6	11,5
550	146	68,8	5,1	12,8
600	133	75,0	5,6	14,0
650	123	81,4	6,1	15,1
700	114	87,5	6,5	16,3
750	107	93,8	7,0	17,3

(1) Compte tenu d'une valeur moyenne de 7,4 g/16 g N des protéines corporelles.

(2) Compte tenu d'un coefficient moyen de transformation de 40 % (voir tableau 4).

Dans les conditions pratiques, on sera toutefois amené à préconiser les mêmes normes par rapport à l'énergie pour les femelles (ou pour les porcs de type maigre) soumises à un niveau d'alimentation libéral et pour les mâles castrés (ou pour les porcs de type gras) sévèrement restreints en finition (HENRY, PION et RERAT, 1976).

3. Conséquences sur les possibilités de réduction des apports protéiques

L'accumulation de résultats expérimentaux permettant de mieux connaître le besoin en acides aminés durant la croissance donne alors la possibilité de réduire l'apport global de matières azotées, tout en satisfaisant le besoin en acides aminés indispensables les plus limitants. Ceci aura pour conséquence une épargne de matières azotées, en échange d'une complémentation des rations en certains acides aminés indispensables. Cela suppose, bien évidemment, que le besoin énergétique soit couvert. Un exemple d'une telle réduction est présenté dans le tableau 30, et est tiré d'une expérimentation récente d'HENRY (1977). Dans des conditions modérées de rationnement, la réponse à une supplémentation en tryptophane, pendant la phase de finition, apparaît quand le taux protéique est voisin de 12 %. Cette réponse est, toutefois, différente selon le sexe des animaux. Il s'avère en effet que les femelles supportent mal (croissance journalière ralentie, efficacité alimentaire réduite) l'abaissement intempestif du taux protéique. Toutefois, les répercussions sur la carcasse et sa composition corporelle sont minimales. En résumé, il s'agit là encore, d'adapter les apports en fonction des potentialités des animaux, même quand on leur distribue un régime rééquilibré en acides aminés indispensables.

TABLEAU 30
REDUCTION DU TAUX AZOTE APRES 50 kg DE POIDS VIF
(HENRY, 1977)

MATIERES AZOTEES (%)	16,9	16,1	14		11,8	
			+ lys.	+ lys. + trypt.	+ lys.	+ lys. + trypt.
Gain moyen quotidien (g)						
Mâles castrés	803	830	840	839	829	801
Femelles	802	766	814	815	729	763
Indice de consommation						
Mâles castrés	3,10	2,97	2,93	2,98	3,01	3,05
Femelles	3,06	3,02	2,86	2,92	3,24	3,14
En % du poids net						
- Longe mâles castrés	29,4	30,8	29,4	30,6	29,0	29,6
femelles	30,6	30,8	31,9	30,6	29,8	30,5
- Bardière mâles castrés	16,6	14,8	16,8	15,8	17,7	17,1
femelles	16,3	15,4	14,2	14,9	15,2	17,0

4. Conséquences sur l'utilisation de certaines sources azotées de remplacement

Il s'est souvent posé le problème du remplacement du tourteau de soja dans l'alimentation animale et plus spécialement dans celle du porc en croissance. Les possibilités d'utilisation des sources azotées de remplacement sont d'abord fonction de leur composition en acides aminés ainsi que de la disponibilité de ces acides aminés. Compte tenu des résultats précédents, il s'ouvre deux voies possibles pour pourvoir aux besoins nutritionnels de l'animal en croissance. En premier lieu, l'utilisation de céréales riches en matières azotées : l'emploi du blé au lieu du maïs, par exemple ou l'utilisation de nouveaux génotypes riches en certains acides aminés indispensables. Si l'apport protéique par les céréales peut donc être accru, il n'en est pas moins vrai que le déficit en certains acides aminés indispensables subsiste, qu'il sera alors nécessaire d'éponger par l'utilisation de sources azotées complémentaires ou par supplémentation directe, surtout pour les porcs femelles ou pour les animaux à potentialité de croissance élevée. Le choix n'est certes pas restreint (tourteau de tournesol, féverole, pois etc...), mais l'introduction de telles sources de remplacement, en place du tourteau de soja, peut augmenter le taux de cellulose dans la ration et perturber, de ce fait, la disponibilité des acides aminés.

En définitive, la différenciation de plus en plus poussée des recommandations, en fonction du sexe ou du type génétique des animaux, associée à une connaissance plus approfondie du besoin en certains acides aminés indispensables, permettra leur couverture plus rigoureuse. Ceci pourra parfois amener de nouvelles contraintes technologiques, comme la diversification des formules alimentaires. Des travaux seront cependant encore nécessaires, en particulier, sur le rôle et l'amplitude des apports d'azote indifférencié, compte tenu du niveau de croissance recherché.

CONCLUSION

Il a été établi un certain nombre de recommandations provisoires en acides aminés indispensables et en matières azotées pour satisfaire les besoins spécifiques dûs au niveau de synthèse protéique recherché, compte tenu des objectifs fixés. On rappellera que l'apport d'acides aminés à un moment donné de la vie de l'animal est fonction du besoin à cet instant et également des objectifs à plus long terme (alimentation du jeune et qualité des carcasses, alimentation de la truie gestante et production laitière). Dans cette optique, le niveau de performances fixé peut être, parfois, atteint par différentes voies nutritionnelles.

Le système d'alimentation azotée doit être choisi en fonction de certaines conditions d'élevage et des paramètres économiques (coût de l'aliment).

Inversement, on peut très bien imaginer que le niveau de performances puisse varier en fonction de la conjoncture économique, ce qui nuance la notion même de normes fondées généralement sur la recherche des performances voisines du maximum. Il faudrait retirer du concept "normes alimentaires" l'idée de contrainte, tout en approfondissant l'étude des lois de variations de l'intensité de production, à chaque stade physiologique, en fonction des apports nutritionnels. Dans ce domaine, l'évolution des processus d'anabolisme et de catabolisme vrais, en fonction des conditions alimentaires ou en relation avec le type génétique, est encore trop méconnue. De la même façon, une meilleure connaissance du rôle spécifique de certains acides aminés indispensables ou non, dans divers états nutritionnels, doit être acquise.

En définitive, les recherches dans ce secteur devraient offrir, à tout instant, la possibilité, à l'éleveur, d'un choix fondé sur un compromis entre les objectifs de production et les coûts inhérents à sa réalisation. C'est dans cette perspective que doit se situer, par exemple, l'acquisition de connaissances sur les nouvelles sources azotées de remplacement. Cette attitude lui permet alors de mieux faire face à des situations marginales (pénurie de protéines, environnement climatique particulier).

BIBLIOGRAPHIE

- Agricultural Research Council, 1967, n° 3 Pigs. A.R.C., London.
- AHLSCHEDE W.T., ROBINSON O.W., 1971. *J. anim. Sci.*, **32**, 10-16.
- ARMSTRONG D.W., CLINE J.R., 1976. *J. anim. Sci.*, **42**, 592-598.
- ARNAL M., 1977. In *Proceed. 2nd Int. Symp. on Protein metabolism*, Flevohof, 35-37.
- ATINMO T., BALDIJAO C., POND W.G., BARNES R.H., 1976. *J. Anim. Sci.*, **43**, 606-612.
- ATINMO T., POND W.G., BARNES R.H., 1974. *J. Nutr.*, **104**, 1033-1040.
- AUMAITRE A., 1971. *Ann. Zootech.*, **20**, 551-575.
- AUMAITRE A., 1974. In *les Industries de l'Alimentation Animale*, n° 11, 9-33.
- AUMAITRE A., 1978. In *Journées Rech. Porcine en France*, Paris - ITP éd., **10** (sous presse).
- AUMAITRE A., DUEE P.H., 1974. *Ann. Zootech.*, **23**, 231-236.
- AUMAITRE A., LAMBERT J.J., 1969. In *Journées Rech. Porcine en France*, Paris, ITP éd., **1**, 169-174.
- AUMAITRE A., SEVE B., 1973. *Journées d'information sur la Nutrition Azotée des animaux*. INRA éd., Paris, 43-49.
- BAKER D.H., BECKER D.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1970a. *J. anim. Sci.*, **30**, 364-367.
- BAKER D.H., BECKER D.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1970b. *J. anim. Sci.*, **31**, 526-530.
- BAKER D.H., HARMON B.G., JENSEN A.H., 1974a. *J. anim. Sci.*, **39**, 838-840.
- BAKER D.H., MOLITORIS B.A., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1974b. *J. anim. Sci.*, **38**, 325-329.
- BAKER D.H., WARREN W.C., HARMON B.G., JENSEN A.H., BECKER D.E., 1969. *J. anim. Sci.*, **29**, 581-584.
- BECKER D.E., JENSEN A.H., TERRILL S.W., NORTON H.W., 1955a. *J. anim. Sci.*, **14**, 1086-1094.
- BECKER D.E., NOTZOLD R.A., JENSEN A.H., TERRILL S.W., NORTON H.W., 1955b. *J. anim. Sci.*, **14**, 664-673.
- BECKER D.E., JENSEN A.H., TERRILL S.W., SMITH I.D., NORTON H.W., 1957. *J. anim. Sci.*, **16**, 26-34.
- BECKER D.E., SMITH I.D., TERRILL S.W., JENSEN A.H., NORTON H.W., 1963. *J. anim. Sci.*, **22**, 1093-1099.

- BECZE J., 1965. *Allattenyésztés.*, **14**, 251-258.
- BEESON W.M., JACKSON H.D., MERTZ E.T., 1953. *J. anim. Sci.*, **12**, 870-875.
- BLAIR R., 1961. *J. Agr. Sci.*, **57**, 373-380.
- BOWLAND J.P., 1964. *Can. J. anim. Sci.*, **44**, 142-153.
- BROWN H.D., HARMON B.G., JENSEN A.H., 1973. *J. anim. Sci.*, **37**, 708-712.
- CAMPBELL R.G., 1977. *Anim. Prod.*, **24**, 69-75.
- CLARK A.J., 1960. *J. anim. Sci.*, **19**, 1254 (abstr.).
- CLAWSON A.J., RICHARDS H.L., MATRONE G., BARRICK E.R., 1963. *J. anim. Sci.*, **22**, 662-669.
- CORRING T., AUMAITRE A., 1977. *Nutr. Metabolism.* (in press).
- CRANWELL P.D., 1977. *Proc. Nutr. Soc.*, **36**, 142 A.
- CUNNINGHAM P.J., NABER C.H., ZIMMERMAN D.R., PEO E.R. Jr., 1974. *J. anim. Sci.*, **39**, 63-67.
- CURTIN L.V., LOOSLI J.K., ABRAHAM J., WILLIAMS H.H., MAYNARD L.A., 1952. *J. Nutr.*, **48**, 499-507.
- DAVEY R.J., 1976. *J. anim. Sci.*, **43**, 598-605.
- DE GEETER M.J., HAYS V.W., KRATZER D.D., CROMWELL G.L., 1972. *J. anim. Sci.*, **35**, 772-777.
- DE GEETER M.J., HAYS V.W., KRATZER D.D., CROMWELL G.L., 1973. *J. anim. Sci.*, **37**, 459-462.
- DUDLEY W.A., BECKER D.E., JENSEN A.H., TERRILL S.W., NORTON H.W., 1962. *J. anim. Sci.*, **21**, 639-642.
- DUEE P.H., 1976. *Ann. Zootech.*, **25**, 199-212.
- DUEE P.H., 1977a. *Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd.* **9**, 193-198.
- DUEE P.H., 1977b. *Vth Int. Symp. on Amino Acids, Budapest.*
- DUEE P.H., JUNG J., 1973. *Ann. Zootech.*, **22**, 243-248.
- DUEE P.H., PASTUSZEWSKA B., ETIENNE M., 1975. *Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd.*, **7**, 121-127.
- DUEE P.H., RERAT A., 1975. *Ann. Zootech.*, **24**, 447-464.
- EASTER R.A., BAKER D.H., 1976. *J. Nutr.*, **106**, 636-641.
- EASTER R.A., BAKER D.H., 1977a. *J. Nutr.*, **107**, 120-125.
- EASTER R.A., BAKER D.H., 1977b. *J. anim. Sci.*, **44**, 417-421.
- EGGERT R.G., WILLIAMS H.H., SHEFFY B.E., SPRAGUE E.G., LOOSLI J.K., MAYNARD L.A., 1954. *J. Nutr.*, **53**, 177-186.
- EGGUM B.O., 1973. *Beretning fra forsogslaboratoriet*, **406**, 173 pp.
- ELLIOTT R.F., VAN DER NOOT G.W., GILBREATH R.L., FISHER H., 1971. *J. anim. Sci.*, **32**, 1128-1137.
- ELSLEY F.W.H., 1970. In *Lactation, 1971.* I.F. FALCONER éd., 393-411. BUTTERWORTHS - London.
- ELSLEY F.W.H., 1976. *E.A.A.P., 27 th Ann. Meet. Zurich.*
- ELSLEY F.W.H., ANDERSON D.M., McDONALD I., McPHERSON R.M., SMART R., 1966. *Anim. Prod.*, **8**, 391-400.
- ELSLEY F.W.H., MacPHERSON R.M., 1964. *Anim. Prod.*, **6**, 259. (Abstr.).

- ELSLEY F.W.H., McPHERSON R.M., McDONALD I., 1971. Xth Int.Congr. anim. Prod., Versailles.
- ETIENNE M., 1977. Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd. 9, 199-203.
- ETIENNE M., DUEE P.H., 1973. Ann. Zootech., 22, 453-462.
- ETIENNE M., DUEE P.H., PASTUSZEWSKA B., 1975. Livest. Prod. Sci., 2, 147-156.
- FAUCONNEAU G., PION R., 1969. Commission d'Etude de la F.E.Z., Helsinki.
- FEVRIER C., AUMAITRE A., 1972. Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd., 4, 199-206.
- FRIEND D.W., 1973. J. anim. Sci., 37, 701-707.
- FRIEND D.W., 1976. J. anim. Sci., 43, 404-412.
- FRIEND D.W., 1977. J. anim. Sci., 44, 601-607.
- GALLO J.T., POND W.G., 1966. J. anim. Sci., 25, 774-778.
- GALLO J.T., POND W.G., LOGAMARSINO J.V., 1968. J. anim. Sci., 27, 1000-1005.
- GANGULI M.C., SPEER V.C., EWAN R.C., ZIMMERMAN D.R., 1971. J. anim. Sci., 33, 394-400.
- GREENHALGH J.F.D., ELSLEY F.W.H., GRUBB D.A., LIGHTFOOT A.L., SAUL D.W., SMITH P., WALKER N., WILLIAMS D., YEO M.L., 1977. Anim. Prod., 24, 307-321.
- GRUHN K., 1965. Die Nahrung, 9, 325-333.
- HAINES C.E., WARNICK A.C., WALLACE H.D., 1959. J. anim. Sci., 18, 347-354.
- HAMMELL D.L., KRATZER D.D., CROMWELL G.L., HAYS V.W., 1976. J. anim. Sci., 43, 589-597.
- HAUGHT D.G., SPEER V.C., 1977. J. anim. Sci., 44, 595-600.
- HAUGHT D.G., TANKSLEY T.D.jr. HESBY J.H., GREGG E.H., 1977. J. anim. Sci., 44, 249-256.
- HAWTON J.D., MEADE R.H., 1971. J. anim. Sci., 32, 88-95.
- HAYS V.W., SPEER V.C., HARTMAN P.A., CATRON D.V., 1959. J. Nutr., 69, 179-184.
- HENRY Y., 1977. Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd., 9, 259-264.
- HENRY Y., BOURDON D., 1976. In Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd., 8, 37-41.
- HENRY Y., BOURDON D., DUEE P.H., JUNG J., 1976. Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd., 8, 51-60.
- HENRY Y., DUEE P.H., RERAT A., 1976. J. anim. Sci., 42, 357-364.
- HENRY Y., ETIENNE M., 1978. Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd., 10, (sous presse).
- HENRY Y., PASTUSZEWSKA B., 1976. Ann. Zootech., 25, 143-148.
- HENRY Y., PION R., RERAT A., 1976. World. Rev. Anim. Prod., 12, 9-32.
- HENRY Y., RERAT A., 1970. Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd., 2, 73-78.
- HESBY J.H., CONRAD J.H., PLUMLEE M.P., MARTIN I.G., 1970. J. anim. Sci., 31, 474-480.
- HESBY J.H., CONRAD J.H., PLUMLEE M.P., HARRINGTON R.B., 1972. J. anim. Sci., 34, 974-978.
- HOLDEN P.H., EWAN R.C., SPEER V.C., 1971. J. anim. Sci., 32, 900-904.

- HOLDEN P.H., LUCAS E.W., SPEER V.C., HAYS V.W., 1968. *J. anim. Sci.*, **27**, 1587-1590.
- HUHN Y., KEEMAN F., KONIG I., POPPE S., 1973. *Arch. Tierz.*, **16**, 347-358.
- HUTCHINSON H.D., JENSEN A.H., TERRILL S.W., BECKER D.E., NORTON H.W., 1957. *J. anim. Sci.*, **16**, 553-557.
- JACKSON H.D., MERTZ E.T., BEESON W.M., 1953. *J. Nutr.*, **51**, 109-116.
- JONES R.D., MAXWELL C.V., 1974. *J. anim. Sci.*, **39**, 1067-1072.
- KASPAR F., PROKOP V., 1971. *Zivocisna vyroba (Praha)*, **16**, 641-646.
- KATZ R.S., BAKER D.H., SASSE C.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., 1973. *J. anim. Sci.*, **37**, 1165-1168.
- KEMM E.H., 1976. *Agroanimalia*, 141-146.
- KNOBLOCH F., WIESEMULLER W., POPPE S., 1975. *Jahrb., Tierern. und Fütterung. Universität Rostock*, **9**, 124-138.
- KORNEGAY E.T., THOMAS H.R., KRAMER C.Y., 1974. *J. anim. Sci.*, **39**, 527-535.
- KRACHT W., GRUHN K., HENNIG A., 1976a. *Arch. Tierernähr.*, **26**, 257-265.
- KRACHT W., HENNIG A., GRUHN K., 1976b. *Arch. Tierernähr.*, **26**, 267-274.
- KRACHT W., HENNIG A., GRUHN K., 1976c. *Arch. Tierernähr.*, **26**, 275-283.
- KROENING G.H., POND W.G., LOOSLI J.K., 1961. *J. anim. Sci.*, **20**, 939 (Abstr.).
- KROENING G.H., POND W.G., LOOSLI J.K., 1965. *J. anim. Sci.*, **24**, 519-525.
- LEIBBRANDT V.D., EWAN R.C., SPEER V.C., ZIMMERMAN D.R., 1975. *J. anim. Sci.*, **40**, 1070-1075.
- LENKEIT W., GUTTE J.O., 1957. *Z. Tierernähr. Futtermittelk.*, **12**, 58-63.
- LEWIS A.J., PEO E.R.Jr., CUNNINGHAM P.J., MOSER B.D., 1977. *J. Nutr.*, **107**, 1361-1368.
- LEWIS A.J., SPEER V.C., 1973. *J. anim. Sci.*, **37**, 104-110.
- LEWIS A.J., SPEER V.C., 1974. *J. anim. Sci.*, **38**, 778-784.
- LEWIS A.J., SPEER V.C., 1975. *J. anim. Sci.*, **40**, 892-899.
- LIVINGSTONE R.M., McPHERSON R.M., ELSLEY F.W.H., LUCAS I.A.M., LODGE G.A., 1966. *Anim. Prod.*, **8**, 337-339.
- LLOYD L.E., CRAMPTON E.W., McKAY V.C., 1957. *J. anim. Sci.*, **16**, 383-387.
- LODGE G.A., HARDY B., LEWIS D., 1972. *Anim. Prod.*, **14**, 229-239.
- LODGE G.A., McDONALD I., McPHERSON R.M., 1961. *Anim. Prod.*, **3**, 269-275.
- LOUGNON J., 1974. *Journées Rech. Porcine en France, Paris, ITP éd.*, **6**, 125-131.
- McPHERSON R.M., ELSLEY F.W.H., SMART R.I., 1969. *Anim. Prod.*, **11**, 443-451.
- McWARD G.W., BECKER D.E., NORTON H.W., TERRILL S.W., JENSEN A.H., 1959. *J. anim. Sci.*, **18**, 1059-1066.
- MAHAN D.C., BECKER D.E., JENSEN A.H., 1971a. *J. anim. Sci.*, **32**, 470-475.
- MAHAN D.C., BECKER D.E., JENSEN A.H., 1971b. *J. anim. Sci.*, **32**, 476-481.
- MAHAN D.C., BECKER D.E., HARMON B.G., JENSEN A.H., 1971c. *J. anim. Sci.*, **32**, 482-486.

- MAHAN D.C., GRIFO A.P. Jr., 1975. *J. anim. Sci.*, **41**, 1362-1367.
- MAHAN D.C., MANGAN L.T., 1975. *J. Nutr.*, **105**, 1291-1298.
- MANNERS M.J., McCREA M.R., 1963. *Brit. J. Nutr.*, **17**, 357-372.
- MEADE R.J., 1973. *Proc. Md Nutr. Conf. Feed Mfs*, 89-97.
- MEADE R.J., RUST J.W., MILLER K.P., HANKE H.E., GRANT R.S., VERMEDAHL L.D., WASS D.F., HANSON L.E., 1969. *J. anim. Sci.*, **29**, 303-308.
- MEADE R.J., TYPPO J.T., TUMBLESON M.E., GOIHL J.H., MEHDEN (Von der) H., 1965. *J. anim. Sci.*, **24**, 626-632.
- MEIER H., POPPE S., WIESEMULLER W., 1970. *Arch. Tierernähr.*, **20**, 567-574.
- MILLER G.M., BECKER D.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., NORTON H.W., 1969. *J. anim. Sci.*, **28**, 204-207.
- MITCHELL J.R., BECKER D.E., JENSEN A.H., NORTON H.W., HARMON B.G., 1965. *J. anim. Sci.*, **24**, 409-412.
- MITCHELL J.R., BECKER D.E., HARMON B.G., NORTON H.W., 1968a. *J. anim. Sci.*, **27**, 1322-1326.
- MITCHELL J.R., BECKER D.E., JENSEN A.H., HARMON B.G., NORTON H.W., 1968b. *J. anim. Sci.*, **27**, 1327-1331.
- MORI T., NAGANO R., 1976. *Jpn. J. Zootech., Sci.*, **47**, 526-531.
- MULLER H.L., KIRCHGESSNER M., 1974. *Z. Tierphys. Tierernähr. u. Futtermittelk.*, **33**, 98-107.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL., 1964. National Academy of Sciences, Washington D.C., Pub. 1192.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL., 1968. National Academy of Sciences, Washington D.C., Pub. 1599.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL., 1973. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- NIELSEN H.E., 1968. *Int. Conv. on "Technical and economic Aspects of Pig Feeding"*, Reggio Emilia. Italy, 1967.
- NIELSEN H.E., 1970. In proceed of RITENA, MALLORCA, 101-116.
- NIELSEN H.E., 1973. *Beretning fra frosogslaborietet.*, **405**, 152 pp.
- NIELSEN H.E., 1976. 27è réunion F.E.Z., Zürich.
- NIELSEN H.E., DANIELSEN V., LAURSEN B., LINNEMANN F., RUBY V., 1976. *Beretning fra stateus Husdyrbruysforsog.*, **433**, 99pp.
- NIELSEN H.E., KRUSE P.E., 1974. *Liv. Prod., Sci.*, **1**, 179-186.
- OESTEMER G.A., HANSON L.E., MEADE R.J., 1973a. *J. anim. Sci.*, **36**, 674-678.
- OESTEMER G.A., HANSON L.E., MEADE R.J., 1973b. *J. anim. Sci.*, **36**, 679-683.
- O'GRADY J.F., 1971. *Ir. J. agric. Res.*, **10**, 17-29.
- O'GRADY J.F., 1973. 24th Ann. Mtg Eur. Assoc. Anim. Prod., Vienne.
- O'GRADY J.F., HANRAHAN T.J., 1975. *Irish Journal of Agricultural Research.* **14**, 127-135.
- OLLIVIER L., HENRY Y., 1977. E.A.A.P., 28th Ann. Mtg., Brussels.
- PALMER N.C., HULLAND T.J., 1965. *Can. Vet., J.*, **6**, 310-316.
- PASTUSZEWSKA B., DUEE P.H., HENRY Y., BOURDON D., JUNG J., 1974. *Ann. Zootech.*, **23**, 537-554.

- PEO E.R., 1964. *Feed. Ag.*, **14**, 30-34.
- PIKE I.H., 1970. *J. Agric. Sci.*, **74**, 209-215.
- PIKE I.H., BOAZ T.G., 1969. *J. Agric. Sci.*, **73**, 301-309.
- PION R., 1974. In *Proceed. 1st Int. Symp. on Protein Metabolism. E.A.A.P. Pub. n° 16.* 259-277.
- PION R., De BELSUNCE C., FAUCONNEAU G., 1963. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, (n° H.S.1), 11-18.
- PION R., FAUCONNEAU G., 1966. In *cahier A.E.C. n° 6*, 157-175. *Commentry.*
- POND W.G., 1973. *J. anim. Sci.*, **36**, 175-182.
- POND W.G., DUNN J.A., WELLINGTON G.H., STOUFFER J.R., VAN VLECK L.D., 1968a. *J. anim. Sci.*, **27**, 1583-1586.
- POND W.G., WAGNER W.C., DUNN J.A., WALKER E.F. Jr., 1968b. *J. Nutr.* **94**, 309-316.
- POND W.G., STRACHAN D.N., SINNA Y.N., WALKER E.F., DUNN J.A., BARNES R.H., 1969. *J. Nutr.*, **99**, 61-67.
- POPPE S., HUHNS U., KLEEMANN F., KONIG I., 1974a. *Arch. Tierernähr.*, **24**, 499-512.
- POPPE S., HUHNS U., KLEEMANN F., KONIG I., 1974b. *Arch. Tierernähr.*, **24**, 551-565.
- POPPE S., HUHNS U., KLEEMANN F., KONIG I., 1974c. *Arch. Tierernähr.*, **24**, 637-648.
- PROKOP V., 1974. *Zivocisna vyroba.*, **19**, 775-784.
- PROKOP V., 1976. *Zivocisna vyroba.*, **21**, 375-381.
- RERAT A., 1971. *Ann. Zootech.*, **20**, 193-246.
- RERAT A., DUEE P.H., 1975. *Ubers Tierernähr.*, **3**, 101-141. u. 249-276.
- RERAT A., DUEE P.H., 1976. In *la conduite du troupeau de reproducteurs porcins. Etudes et formation vétérinaires*, 15-24.
- RERAT A., HENRY Y., 1964. *Ann. Zootech.*, **13**, 5-33.
- RERAT A., HENRY Y., DESMOULIN B., 1971. *Journées Rech. Porcine en France, ITP éd., Paris*, **3**, 65-72.
- RERAT A., LOUGNON J., 1966. *Amino acids, peptides, protéines. Cahier AEC n° 6*, 341-422.
- RIPPEL R.H., 1967. *J. anim. Sci.*, **26**, 526-532.
- RIPPEL R.H., RASMUSSEN O.G., JENSEN A.H., NORTON H.W., BECKER D.E., 1965a. *J. anim. Sci.* **24**, 203-208.
- RIPPEL R.H., HARMON B.G., JENSEN A.H., NORTON H.W., BECKER D.E., 1965b. *J. anim. Sci.*, **24**, 209-215.
- ROBERTSON G.L., CASIDA L.E., GRUMMER R.H., CHAPMAN A.B., 1951. *J. Anim. Sci.*, **10**, 841-866.
- ROBBINS K.R., BAKER D.H., 1977. *J. Anim. Sci.*, **45**, 113-118.
- ROMBAUTS P., 1962. *Ann. Zootech.*, **11**, 39-51.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1964a. *Ann. Zootech.*, **13**, 51-61.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1964b. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **4**, 49-62.
- SALMON-LEGAGNEUR E., 1965. *Ann. Zootech.*, **14** n° 1 HS, 1-137.
- SALMON-LEGAGNEUR E., DUEE P.H., 1972. *Journées Rech. Porcine en France, ITP éd.*, **4**, 157-161.

- SCHULER D., BODENSTEIN K.H., HENNIG A., 1976. Arch. Tierernähr., **26**, 643-654.
- SELLIER P., HOUIX Y., DESMOULIN B., HENRY Y., 1974. Journées Rech. Porcine en France, ITP éd., Paris, **6**, 209-219.
- SELLIER P., BOLET G., HENRY Y., DESMOULIN B., 1977. Ann. Genet. Sél. anim. (in press).
- SEVE B., AUMAITRE A., 1975a. Journées Rech. Porcine en France, ITP éd., Paris, **7**, 129-136.
- SEVE B., AUMAITRE A., 1975b. Journées Rech. Porcine en France, ITP éd., Paris, **7**, 137-144.
- SEVE B., 1976. Journées Rech. Porcine en France, ITP éd., Paris, **8**, 153-162.
- SEVE B., AUMAITRE A., 1977. World Rev. An. Prod. (in press).
- SEVE B., AUMAITRE A., TORD P., 1975. Ann. Zootech., **24**, 21-42.
- SEVE B., AUMAITRE A., TORD P., JAUBERT P., 1978. Ann. Zootech., (in press).
- SEWELL R.F., LOOSLI J.K., MAYNARD L.A., WILLIAMS H.H., SHEFFY B.E., 1953. J. Nutr., **49**, 435-441.
- SEWELL R.F., WEST J.P., 1965. J. Anim. Sci., **24**, 239-241.
- SHEARER I.J., 1971. Ph. D. thesis, University of Nottingham.
- SHEFFY B.E., SHAHANI K.M., GUMMER R.H., PHILLIPS P.H., SOMMER H.H., 1952. J. Nutr., **48**, 103-114.
- SKORKIN G.K., 1965. Zivotnovodstvo, n° 7, 63-74.
- STAROVOITOV A.M., 1956. Zivotnovodstvo n° 6, 46-51.
- SMITH H., LUCAS I.A.M., 1956. J. Agr. Sci., **48**, 220-236.
- STOTHERS S.C., MILNE B.E., 1964. Univ. Of Manitoba. Annu. Rep. of Livestock. Res. **14** : 14.
- SVAJGR A.J., HAMMELL D.L., DEGEETER M.J., HAYS V.W., CROMWELL G.L., DUTT R.H., 1972. J. Reprod. Fert., **30**, 445-458.
- TOULLEC R., PATUREAU-MIRAÑD P., PARVELLE J.L., GUILHERMET R., 1973. L'alimentation et la vie., **61**, 57-92.
- VAN ES A.J.H., 1972. In Proc. 9th Int. Congr. Nutrit. Mexico, vol. 3, 107-113. Karger éd., Basel.
- VANSCHOUBROEK F., VAN SPAENDONCK R., 1973. Z. Tierph. Tierernähr. Futtermittelk., **31**, 71-91.
- VELICKOVIC G., JELIC T., 1971. Arh. Poljopr. Nauke. **24** (88), 47-53.
- WAHLSTROM R.C., LIBAL G.W., 1977. J. anim. Sci., **45**, 94-99.
- WIESEMULLER W., 1976. Wissenschaft. Zeitsch. Universität Rostock, **25**, 147-164.
- WIESEMULLER W., POPPE S., 1974. Arch. Tierernähr., **24**, 535-542.
- WILLIAMS H.H., CURTIN L.V., ABRAHAM J., LOOSLI J.K., MAYNARD L.A., 1954. J. Biol. Chem. **208**, 277-286.
- WOERMAN R.L., SPEER V.C., 1976. J. anim. Sci., **42**, 114-120.
- WYLLIE D., SPEER V.C., EWAN R.C., HAYS V.W., 1969. J. anim. Sci., **29**, 433-438.
- YOUNG L.G., FORSHAW R.P., SMITH G.C., 1973. J. anim. Sci., **37**, 898-905.
- YOUNG L.G., FORSHAW R.P., SMITH G.C., 1976. J. anim. Sci., **42**, 1182-1186.
- ZIMMERMAN D.R., 1975. J. anim. Sci., **40**, 875-879.
- ZIMMERMAN D.R., PEO E.R., HUDMAN D.B., 1967. J. anim. Sci., **26**, 514-517.
- ZIMMERMAN D.R., SPIES H.G., RIGOR E.M., SELF H.L., CASIDA L.E., 1960. J. anim. Sci., **19**, 687-694.