

RÉDUCTION DES REJETS AZOTÉS CHEZ LE PORC EN CROISSANCE PAR LA MISE EN OEUVRE DE L'ALIMENTATION MULTIPHASE, ASSOCIÉE À L'ABAISSMENT DU TAUX AZOTÉ

D. BOURDON, J.-Y. DOURMAD, Y. HENRY

*Institut National de la Recherche Agronomique
Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles*

Avec la collaboration de G. CONSEIL, J. GAUTHIER, A. AMET, H. DEMAY et G. REUZEAU.

L'application de la conduite d'alimentation multiphase associée à l'abaissement du taux azoté dans des régimes blé-tourteau de soja, après supplémentation en acides aminés, a été étudiée dans deux expériences sur des porcs croisés Piétrain x Large White entre 25 ou 30 kg et 100 kg de poids vif, dans deux bâtiments différant par les conditions de milieu, à l'avantage de l'expérience 1. En comparaison avec un lot 1 témoin recevant un régime unique (16,7% de MAT, 0,74% de lysine digestible et 2,3 Mcal d'EN/kg), trois lots soumis à la conduite alimentaire multiphase avec amélioration progressive de l'équilibre en acides aminés, pour un rapport lysine /MAT de 0,05 (lot 2) avec une simple supplémentation en lysine, 0,06 (lot 3) avec en plus une supplémentation en thréonine et méthionine, et 0,07 (lot 4) avec en plus une supplémentation en tryptophane. Pour la technique multiphase, deux aliments (A et B), de même rapport lysine/MAT, qui présentent des teneurs en lysine correspondant aux besoins au début (25 kg) et à la fin de la période expérimentale (100 kg), sont mélangés en proportions variables, afin d'obtenir un apport d'EN proche de celui à volonté (90%), identique dans les quatre lots. En outre, dans les lots 2, 3 et 4 les apports de lysine sont ajustés à un même niveau en fonction du poids vif, pour obtenir une croissance optimale. Les teneurs en MAT dans les aliments A et B étaient respectivement de 18,0 - 14,5% (lot 2), 15,0 - 12,0% (lot 3), 13,0 - 10,7% (lot 4). Les 4 lots sont comparés dans l'expérience 1, à raison de 9 mâles castrés par lot, et les 3 premiers lots seulement dans l'expérience 2, à raison de 20 animaux par lot (10 femelles et 10 mâles castrés). Aucune différence significative n'apparaît entre les traitements pour les performances de croissance ou la composition corporelle. Seule une tendance à une diminution du gain moyen pondéral avec le régime témoin en croissance (entre 30-60 kg), et avec la conduite multiphase en finition (entre 60 et 100 kg) est à noter, en relation avec une légère augmentation de l'épaisseur de lard dorsal. Les performances de croissance sont supérieures dans un environnement thermique plus favorable (Expérience 1). Par rapport au régime unique, la conduite multiphase avec la fourniture d'une protéine proche de la protéine idéale (lysine/MAT=0,07) permet de réduire la quantité d'azote excrété de 3,56 à 1,83 kg par porc entre 25 et 100 kg de poids vif, soit 50% en moins, dont 10% dû à la conduite multiphase. Ce niveau minimal d'excrétion azotée correspond à 25 g /kg de gain poids vif ou 9,4 g par kg d'aliment ingéré entre 25 et 100 kg. Ces résultats permettent de valider l'efficacité de l'alimentation multiphase couplée à l'abaissement du taux azoté pour réduire les rejets azotés chez le porc, en maintenant les performances optimales et la qualité des carcasses.

Reduction of nitrogen output in growing pigs by multiphase feeding with decreased dietary protein level

To study the opportunity for reducing nitrogen (N) excretion through multiphase feeding strategy associated to decreased dietary protein level with supplementary addition of limiting amino acids two experiments were conducted with crossbred Piétrain x Large White growing pigs between 25 or 30 and 100 kg live weight. In comparison with a control wheat-soybean meal diet (treatment 1) providing 16.7% crude protein (CP), 0.74% true digestible lysine and 2.30 Mcal net energy (NE)/kg, three treatments involved multiphase feeding with progressive improvement of dietary amino acid balance, by increasing lysine/CP ratio in diets similarly based on wheat and soybean meal from 0.05 in treatment 2 with single addition of L-lysine HCl to 0.06 in treatment 3 with further addition of L- threonine and DL-methionine and 0.07 in treatment 4 with still further addition of L-tryptophan to reach an amino acid pattern close to that of ideal protein. In multiphase feeding two feeds (A and B) with the same lysine/CP ratio, and lysine levels corresponding to the requirement at the beginning (25 kg) and at the end (100 kg) of the experimental period were mixed in varying proportions so that NE supply was the same across treatments according to live weight at a level close to of ad libitum feeding (90%) and daily supply of digestible lysine was

the same in the «multiphase» treatments according to live weight at a level corresponding to optimum growth. CP protein contents (%) of feeds A and B were 18.0 and 14.5 in treatment 2, 15.0 and 12.0 in treatment 3 and 13.0 and 10.7 in treatment 4 respectively. The four treatments were compared in Experiment 1 in highly conditioned environment (24-25°C temperature) with 9 castrated males per treatment. The first three treatments were compared in Experiment 2 in a conventional building (19 to 23-25°C) with 20 pigs per treatment 10 females and 10 castrated males. On the whole in both experiments no significant differences were found between treatments for growth performance and carcass composition. A tendency was observed for slightly decreased growth rate with control diet between 25 and 60 kg live weight and with multiphase feeding during the finishing period (between 60 and 100 kg live weight) in relation to a slight increase in backfat thickness thus indicating a critical level of amino acids during these two periods. Growth performance was higher in more favorable thermic environment (Experiment 1). Compared to the single diet in treatment 1 multiphase feeding associated to dietary protein close to ideal protein (lysine/CP=0.07) allowed to reduce the amount of excreted N from 3,56 to 1,83 per pig between 25 and 100 kg live weight that is 50% less with 10% accounting for multiphase feeding alone. This attainable minimal N excretion corresponds to 25 g/kg live weight gain or 9.4 g/kg feed intake between 25 and 100 kg live weight. These results contribute to validate the efficacy of multiphase feeding technique associated to decreased protein content to reduce nitrogen output in growing pigs whilst maintaining optimum growth performance and carcass quality.

INTRODUCTION

La réduction des rejets azotés chez le porc, par voie alimentaire, procède de deux approches complémentaires (HENRY et DOORMAD, 1993; DOORMAD et HENRY, 1994) :

- 1 - par un ajustement concomitant des apports journaliers d'énergie d'une part et de protéines d'autre part en fonction du potentiel de production des animaux,
- 2 - par une réduction de l'intrant azoté quantitatif (taux de protéines) grâce à une amélioration de l'équilibre en acides aminés.

Si l'ajustement de l'apport énergétique au besoin s'effectue spontanément par le biais de la consommation d'aliment, il en va différemment de la consommation de protéines dont l'adéquation au besoin dépend du taux dans le régime selon le stade de production. Chez le porc en croissance-finition, le cas le plus simple est représenté par le régime unique dont l'ajustement au besoin ne correspond qu'à une courte période du début de la phase d'engraissement, avec un excès important pendant le reste de la période. Une meilleure adéquation est réalisée dans l'alimentation par phase, par exemple en deux phases (croissance et finition), avec un changement d'aliment à un stade défini de la croissance (généralement à 50 ou 60 kg de poids vif), voire en trois phases. A un niveau plus élaboré, on peut envisager un ajustement de l'apport de protéines par phases de courte durée, de manière à suivre au plus près l'évolution du besoin azoté avec l'âge ou le poids vif. Il s'agit alors du mode d'alimentation dit «multiphase».

Sur le plan pratique, avec la mise à disposition d'équipements automatisés et programmés de mélange et de distribution d'aliments, sous forme humide ou par voie sèche, cela est désormais possible par le mélange, en proportions variables, de deux aliments dont les teneurs en protéines et en acides aminés correspondent respectivement à celles requises au début et à la fin de la phase de croissance-finition, à la condition de maintenir dans les deux aliments en mélange le même profil d'équilibre entre les acides aminés indispensables, tout au moins parmi les plus limitants d'entre eux, lysine, thréonine, méthionine et tryptophane (HENRY, 1993). Ce faisant, on suppose, comme cela est habituellement admis, que les relations d'équilibre entre les acides aminés sont les mêmes au début et à la fin de l'engraissement. Une telle conduite d'alimentation multiphase, en adaptant au plus juste dans le temps les apports de protéines aux besoins stricts des animaux, est ainsi conçue pour atteindre la rétention azotée optimale avec le niveau d'intrant le plus faible, et donc l'excrétion azotée minimale.

La réduction de l'apport azoté quantitatif (taux azoté) est obtenue par la mise en oeuvre d'une stratégie de poly-supplémentation à l'aide d'acides aminés industriels, à partir du plus limitant, généralement la lysine, puis dans un ordre déterminé par le niveau des déficits des acides aminés limitants secondaires selon les combinaisons de sources de protéines, la thréonine, la méthionine et le tryptophane, également disponibles au niveau industriel. La qualité de l'équilibre en acides aminés du régime est ainsi définie par le rapport entre la teneur en lysine et celle en matières azotées, ce rapport pouvant ainsi progresser d'une valeur de 0,05 environ dans les aliments courants ne bénéficiant d'aucune supplémentation en acides aminés sous forme libre jusqu'à une valeur de 0,07 correspondant à l'équilibre optimal en

acides aminés dans la «protéine idéale» (HENRY, 1993).

L'objectif de notre étude est précisément de quantifier, chez le porc en croissance-finition (entre 25 et 100 kg de poids vif), le niveau d'excrétion azotée techniquement réalisable avec la conduite alimentaire multiphase par référence à l'aliment unique, et selon la «qualité» de l'équilibre en acides aminés (rapport lysine/MAT), dans des conditions définies pour le type de porc (animaux croisés Piétrain X Large White), la nature du régime (blé-tourteau de soja), le niveau de rationnement et le milieu d'élevage (environnement thermique), tout en maintenant les performances de croissance à leur niveau optimal et en préservant la qualité des carcasses.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a fait l'objet de deux expériences réalisées à la station de Recherches Porcines de Saint-Gilles sur porcs en croissance-finition (entre 25-30 et 100 kg de poids vif), issus d'un croisement Piétrain x Large White, soumis à un même plan de rationnement alimentaire de type libéral en fonction du poids vif, sur la base de l'énergie nette (EN), dans des bâtiments munis de loges individuelles mais différant par les conditions de milieu: un bâtiment climatisé pour atteindre une température minimale de 24-25°C, sur caillebotis intégral, comportant deux salles de 18 loges (2,25m x 0,65m) (Expérience 1 ; Octobre 1993-Février 1994); un bâtiment plus conventionnel sur le plan de la régulation thermique (19-23°C, pendant les quinze premiers jours, puis 25°C), sur sol paillé, avec 60 loges, plus spacieuses (2,55 m x 0,85 m) (Expérience 2, même période).

1.1. Animaux et schéma expérimental

1.1.1. Expérience 1

Trente-six porcs mâles castrés, d'un poids vif moyen initial de 25,6 kg et d'un âge moyen de 74 jours, sont répartis entre 4 lots de 9 porcs selon un dispositif en blocs complets, constitués sur la base du poids vif et de l'âge. Dans le lot 1 (tableau 1), les animaux reçoivent un régime témoin unique à base de blé-tourteau de soja, renfermant 16,7% de MAT, 0,85% de lysine totale (0,74% de lysine digestible vraie) et 2,30 Mcal d'énergie nette (EN)/kg.

Dans les trois autres lots, on procède à une conduite d'alimentation de type multiphase, comportant, dans chaque lot, la distribution en mélange de deux aliments A et B, différant par la teneur en MAT mais présentant un même rapport lysine/MAT, ce dernier étant fixé à 3 niveaux selon la «qualité» de l'équilibre en acides aminés: 0,05 dans le lot 2, niveau conventionnel avec un simple apport de lysine seule sous forme libre, 0,06 dans le lot 3 avec supplémentation en lysine, thréonine et méthionine; 0,07 dans le lot 4, correspondant à un profil de composition en acides aminés voisin de celui de la «protéine idéale», avec supplémentation en lysine, thréonine, méthionine et tryptophane. La similitude des profils en acides aminés dans les aliments A et B est circonscrite aux acides aminés limitants secondaires, thréonine, méthionine et tryptophane relativement à la lysine, en maintenant, par voie de supplémentation leurs rapports à la lysine aux valeurs minimales respectives de 0,65 - 0,30 et 0,18 sous forme digestible. Pour chaque couple d'aliment A et B, la teneur en lysine digestible par unité d'EN est fixée à un niveau correspondant respectivement aux besoins en lysine au début

(25 kg) et à la fin (100 kg) de la période expérimentale, soit par jour 11,3 et 18 g, ou en g/Mcal d'EN 3,5 et 2,7. Etant soumis au même plan de rationnement que les animaux témoins sur la base du poids vif, les animaux des lots 2, 3 et 4 reçoivent ainsi en fonction de leur poids vif les mêmes quantités d'EN et de lysine digestible. Par ailleurs, les teneurs en MAT dans chaque couple d'aliment sont fixées en fonction des rapports lysine/MAT correspondants: pour 0,05 dans le lot 2, 18,0%

(A) et 14,4% (B); pour 0,06 dans le lot 3, 15,0% (A) et 12,0% (B); pour 0,07 dans le lot 4, 13,0% (A) et 10,7% (B).

Dans l'aliment unique du lot témoin, la teneur en lysine, maintenue constante pendant tout l'engraissement, est fixée à un niveau légèrement inférieur à celui correspondant au tout premier stade de 25 kg de poids vif : 0,85% de lysine totale (0,74% de digestible) ou 3,3 g de lysine digestible/Mcal EN.

Tableau 1 - Composition des régimes (1).

	Lot 1	Lot 2		Lot 3		Lot 4	
	Témoin	R2A	R2B	R3A	R3B	R4A	R4B
M.A.T.,%	17,0	18,0	14,5	15,0	12,0	13,0	10,7
Lys. / M.A.T.	-	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
Composition centésimale							
Blé	73,74	71,05	81,66	80,28	89,25	86,44	93,03
Tourteau de Soja 48	20,0	22,7	12,0	13,0	4,0	6,5	-
Mélasses	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Mélange Minéral. (2)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Mélange Oligo-Vit. (3)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Acides aminés industriels							
L-lysine HCL	0,06	0,05	0,14	0,36	0,40	0,55	0,52
L-tréonine	-	-	-	0,11	0,12	0,21	0,18
DL-méthionine	-	-	-	0,05	0,03	0,08	0,05
L-tryptophane	-	-	-	-	-	0,02	0,02

(1) les régimes sont présentés sous la forme de granulés de 4,5 mm.

(2) dont 1,2 de phosphate bicalcique, 0,9 de craie broyée et 0,1 de sel marin.

(3) apportant par kg d'aliment : Fe ($\text{SO}_4\text{Fe}, 7\text{H}_2\text{O}$) : 80 mg ; Cu ($\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$) : 10mg ; Mn (MnO) : 40 mg ; Zn (ZnO) : 101 mg ; diluat de Cobalt : 0,1 mg ; diluat d'iode : 0,6 mg ; diluat de sélénium : 0,15 mg ; vit. A : 5000 UI ; vit. D3 : 1000UI ; vit. E : 10 mg ; vit. K3 : 2 mg ; thiamine : 2 mg ; riboflavine : 4 mg ; Vit B5 : 9,9 mg ; acide nicotinique : 15 mg ; pyrodoxine : 1 mg ; vit. B12 : 0,020 mg ; biotine : 0,2 mg ; acide folique : 1 mg ; choline : 500 mg ; sel marin : 3 g, chaux 5,2 g.

1.1.2. Expérience 2

Soixante porcs, d'un poids vif moyen initial de 30,8 kg et d'un âge moyen de 77 jours, d'un nombre égal de femelles et de mâles castrés, sont répartis entre les trois premiers lots du schéma expérimental précédent, selon le même dispositif en blocs complets sur la base du poids vif, de l'âge et du type sexuel.

1.2. Aliments et conduite alimentaire

Les caractéristiques de composition du régime témoin (lot 1) et des composants (A et B) dans les lots 2, 3 et 4 sont détaillées dans le tableau 1. Le régime témoin renferme 2,3 Mcal d'EN/kg. Les teneurs en EN des aliments de la conduite multiphase augmentent à mesure que leur équilibre en acides aminés progresse vers la protéine idéale. Dans l'aliment 4B, le tourteau de soja disparaît complètement au bénéfice des acides aminés industriels, la L-lysine HCl, L-thréonine, DL-méthionine et L-tryptophane. Les aliments sont présentés sous forme de granulés de 4,5 mm de diamètre.

Les coefficients de digestibilité des nutriments et la teneur en énergie digestible (ED) ont été mesurés directement dans un essai de digestibilité réalisé pour chacun des 7 aliments

constitutifs sur 28 porcs mâles castrés, d'un poids vif moyen de 50 kg, à raison de 4 animaux par aliment. La teneur en EN est estimée selon NOBLET et al.(1989), à partir de la teneur en ED et des caractéristiques de composition chimique des régimes (teneurs en matières azotées, matières grasses et cellulose brute).

Le plan de rationnement alimentaire est établi sur la base de l'EN en fonction du poids vif, à un niveau proche (90%) de celui à volonté, le même chez les femelles et les mâles castrés dans l'expérience 2 (tableau 2). De même, le profil d'apport journalier de lysine digestible selon le poids vif est fixé en fonction de la courbe de croissance optimale réalisée par les porcs croisés Piétrain x Large White alimentés presque à volonté (DOURMAD et al., 1992). Les plans de rationnement pour la conduite multiphase (lots 2, 3 et 4), en quantité d'aliment frais, se déduisent ainsi de celui préparé pour le lot 1, les apports d'EN étant les mêmes à un poids vif donné.

Pour faciliter la mise en oeuvre de la conduite multiphase, la décroissance curvilinéaire de la teneur en lysine digestible par unité d'EN en fonction du poids vif a été assimilée à une décroissance linéaire entre les stades extrêmes (25 et 100 kg), ce qui revient à ménager une légère marge supplémentaire de sécurité. Ce faisant, les proportions (en %) du composant A

Tableau 2 - Résultats d'analyses des régimes.

	Lot 1	Lot 2		Lot 3		Lot 4	
	Témoin	R2A	R2B	R3A	R3B	R4A	R4B
Résultats d'analyse, % MS							
Matière Sèche, %	87,0	86,2	86,6	86,3	86,6	87,0	87,1
Cendres	5,7	5,9	5,4	5,2	4,8	5,0	4,7
M. A. T. (Nx6,25)	19,2	20,7	16,7	17,6	13,9	14,8	12,5
Matières Grasses	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4
Cellulose brute ²	3,4	3,5	2,9	3,0	2,6	2,5	2,2
N. D. F.	13,4	13,0	13,1	13,0	12,9	12,5	11,0
A. D. F.	4,1	4,5	3,9	4,1	3,5	3,4	2,9
Énergie, Kcal/ kg MS (1)							
Digestible	3688	3739	3668	3738	3668	3740	3735
Nette	2644	2657	2684	2723	2742	2783	2828
Acides aminés, g/kg							
Lysine totale	8,5	9,0	7,0	9,0	7,1	8,9	7,0
Lysine digestible (2)	7,4	7,8	6,1	8,1	6,3	8,1	6,4
Méthionine totale	2,5	2,6	2,1	2,7	2,1	2,7	2,1
Méthionine digestible	2,2	2,3	1,9	2,4	1,9	2,5	1,9
Cystine totale	3,3	3,5	3,0	3,0	2,6	2,7	2,4
Cystine digestible	2,8	3,0	2,6	2,6	2,2	2,3	2,1
Méth.+Cys totale	5,8	6,1	5,1	5,7	4,7	5,4	4,5
Méth.+Cys digestible	5,1	5,3	4,5	5,0	4,1	4,8	4,0
Thréonine totale	5,8	6,2	4,7	5,9	4,7	6,0	4,7
Thréonine digestible	4,9	5,3	3,9	5,1	4,1	5,3	4,2
Tryptophane total	2,1	2,2	1,7	1,7	1,3	1,6	1,3

(1) La teneur en ED a été mesurée dans un essai de digestibilité sur 5 porcs mâles castrés par régime. La teneur en énergie nette est calculée à partir de la valeur ED et de la composition chimique des régimes (NOBLET et al., 1989).

(2) Teneurs calculées d'après Rhône Poulenc Animal Nutrition, 1993.

Tableau 3 - Plan de rationnement

Poids vif, kg	Énergie, Mcal EN/jour	Lysine digestible, g/j	
		lot 1	lots 2, 3 et 4
20-24	2,90	9,6	10,2
24-28	3,24	10,7	11,3
28-32	3,58	11,8	12,5
32-36	3,80	12,5	13,1
36-40	4,02	13,2	13,6
40-44	4,25	14,0	14,1
44-48	4,47	14,8	14,6
48-52	4,69	15,5	15,0
52-56	4,92	16,2	15,3
56-60	5,14	17,0	15,8
60-64	5,36	17,7	16,2
64-68	5,59	18,4	16,5
68-72	5,81	19,2	16,9
72-76	6,03	19,9	17,2
76-80	6,26	20,7	17,5
80-84	6,48	21,4	17,7
84-100	6,70	22,1	17,9

par tranche de 4 kg de poids vif (et réciproquement pour le composant B) sont déterminées, par progression linéaire entre 100 et 0, compte tenu de l'apport journalier d'EN et des contenus respectifs en EN des composants A et B (tableau 2). Plus précisément, entre 24 et 32 Kg de poids vif, les apports d'aliment dans les lots 2, 3 et 4 sont réalisés en totalité par les composants les plus riches en MAT (2A, 3A et 4A) ; il en est de même pour les composants les moins riches en MAT entre 84 et 100 kg de poids vif. La décroissance linéaire du pourcentage d'aliment A dans le mélange est opérée dans 14 intervalles de poids de 4 kg entre 32 et 84 kg.

Les aliments sont distribués le matin, et l'eau est disponible à volonté. Les animaux sont pesés une fois par semaine et les consommations d'aliment sont enregistrées quotidiennement. Le plan de rationnement est réajusté chaque semaine pour chaque porc en fonction de son poids vif effectif.

1.3. Observations à l'abattage.

Les animaux dans les expériences 1 et 2 sont abattus aux poids vifs moyens respectifs de 100,8 et 100,6 kg, à des âges moyens de 164 et 171 jours, après une période de jeûne de 16 heures en moyenne. On procède aux mesures linéaires d'épaisseur de lard et de muscle sur les carcasses chaudes avec l'appareil Fat-O-Meater. Après un ressuyage de 24 heures, la demi-carcasse gauche est découpée suivant la technique parisienne normalisée. Les pourcentages de muscle et de gras sont calculés à partir des résultats de découpe à l'aide des équations de DESMOULIN et al.(1988).

La quantité d'azote excrété est calculée par différence entre les quantités d'azote ingéré et fixé. Pour l'estimation de la rétention azotée, on utilise la relation d'allométrie donnant la masse des protéines corporelles en fonction du poids vif vide et du taux de muscle CEE mesuré à l'abattage (GUILLOU et al., 1993). La quantité d'N excrété est convertie en quantité d'N épandable du lisier en prenant en compte les pertes d'ammoniac par volatilisation dans le bâtiment et pendant le stockage du lisier, selon notamment le mode de conduite, sur caillebotis intégral ou sur sol nu (GUILLOU et al., 1993).

1.4. Analyse statistique

Les données expérimentales sont traitées par l'analyse de variance, avec le logiciel SAS (1990), utilisant la procédure GLM, complétée par la comparaison multiple des moyennes (test de NEWMANN-KEULS).

2. RÉSULTATS

2.1. Performances de croissance et composition corporelle

2.1.1. Expérience 1

Comme le prévoyait le protocole, le rationnement des animaux sur un même apport d'EN s'est traduit par une diminution significative de la consommation d'aliment avec la baisse du taux de MAT (tableau 4). Cependant, le niveau d'ingestion

Tableau 4 - Performances de croissance et composition corporelle à l'abattage (Expérience 1, n=9 porcs mâles castrés croisés Piétrain x LW par lot).

	Unique	Multiphase			Signif. Stat. (1)	
	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	S \bar{x}	P
Croissance (2)						
Aliment, kg/j	1,84 a	1,85 a	1,79 b	1,76 c	0,01	**
EN, Mcal/j	4,23	4,27	4,25	4,28	0,02	ns
GMQ, g/j	755	778	772	760	14,0	ns
IC, kg/ kg	2,44	2,38	2,33	2,33	0,04	ns
IC, Mcal EN/kg	5,61	5,50	5,52	5,65	0,11	ns
Finition (3)						
Aliment, kg/j	2,75 a	2,68 b	2,59 c	2,56 c	0,01	**
EN, Mcal/j	6,31 a	6,24 ab	6,16 b	6,27 ab	0,03	*
GMQ, g/j	952	939	918	892	15,7	ns
IC, kg/ kg	2,90	2,86	2,83	2,87	0,05	ns
IC, Mcal EN/kg	6,66	6,66	6,73	7,05	0,12	ns
Période totale						
Aliment, kg/j	2,26 a	2,24a	2,18 b	2,15 c	0,01	**
EN, Mcal/j	5,20	5,22	5,19	5,26	0,02	ns
GMQ, g/j	847	855	843	823	12,5	ns
IC, kg/ kg	2,68	2,63	2,60	2,62	0,04	ns
IC, Mcal EN/kg	6,16	6,11	6,17	6,40	0,10	ns
Composition corporelle						
Rendement chaud, %	83,7	83,1	83,5	83,8	0,41	ns
X2, mm	20,9 ab	19,4 b	20,7 ab	23,2 a	0,79	*
X4, mm	17,2	16,7	17,4	18,3	0,76	ns
Bardière, %	10,95	9,90	10,46	10,98	0,32	ns
Gras, %	23,93	22,29	23,06	24,28	0,59	ns
Jambon, %	24,42	24,65	23,92	23,89	0,30	ns
Longe, %	32,57	33,13	33,57	33,17	0,44	ns
Muscle CEE, %	53,33	54,45	54,18	53,11	0,69	ns

(1) Signification statistique : * P<0,05; ** P<0,01; ns P>0,10. Effet lot : pour chaque ligne les valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement P>0,05.

(2) de 25, 6 à 60,9 kg des poids vif et de 74 à 121 j d'âge en moyenne.

(3) de 60,9 à 100,8 kg des poids vif et de 121 à 164 j d'âge en moyenne.

d'EN est significativement plus faible dans le lot 3 que dans le lot 1 durant la phase de finition. En dépit de ce léger biais, la vitesse de croissance pour l'ensemble des animaux n'est pas affectée par le mode d'alimentation (multiphase vs régime unique) ni par la réduction du taux de protéines : elle est en moyenne de 766g en croissance, 925g en finition et 842g pour la totalité de la phase d'engraissement. Il en est de même pour les indices de consommation, en moyenne 2,37 - 2,86 et 2,63 en kg/kg, 5,57 - 6,78 et 6,21 Mcal EN/kg, respectivement pour la croissance, la finition et la période totale d'engraissement. Bien que l'écart ne soit pas significatif, il y a lieu de noter en finition une tendance à une diminution de la vitesse de croissance avec la conduite multiphase, alors que la tendance inverse est observée en croissance.

Dans l'ensemble, la composition des carcasses à l'abattage n'est pas affectée par la conduite alimentaire (multiphase vs régime unique), ni par le taux azoté. Tout au plus, on observe une épaisseur de lard latérale X₂ plus élevée pour un rapport lysine/MAT de 0,07. Cette réponse va de pair avec une tendance à une accentuation de l'état d'adiposité avec l'élévation du rapport lysine/MAT.

2.1.2. Expérience 2

Comme dans l'expérience précédente, la réduction du taux azoté, principalement dans le lot 3 se traduit, pour un même apport d'EN, par une diminution de la consommation moyenne

journalière d'aliment (Tableau 5). En finition, la vitesse de croissance en conduite multiphase est significativement plus faible ($P < 0,05$) qu'avec l'aliment unique (848 g vs 906 g/j, soit -7%) et l'indice de consommation est accru (7,27 vs 6,82 Mcal EN/kg, soit +6,6%), alors qu'une tendance inverse mais non significative est enregistrée entre 30 et 60 kg de poids vif.

Globalement, sur l'ensemble de la période, la vitesse de croissance et l'indice de consommation ne sont affectés ni par la conduite alimentaire (multiphase vs régime unique), ni par l'abaissement du taux azoté. Par rapport à la première expérience, conduite dans un bâtiment différent, les performances sont réduites de 10,7% pour la vitesse de croissance et l'indice de consommation est accru de 10,6%), en considérant les mêmes 3 premiers traitements et les mâles castrés.

Les résultats de composition corporelle ne sont pas affectés par les traitements. Seule l'épaisseur de lard latérale au site X₄ est légèrement accrue avec le mode multiphase ($P < 0,05$) cette différence pouvant être reliée à une élévation du rendement de la carcasse (82,7 contre 81,7 avec l'aliment unique).

En l'absence d'interaction entre le type sexuel et les traitements, on observe les différences habituelles entre femelles et mâles castrés. Pour un même niveau de rationnement, les femelles ont une vitesse de croissance et surtout une efficacité alimentaire légèrement supérieures, en relation avec une adiposité moindre des carcasses.

Tableau 5 - Performances de croissance et composition corporelle à l'abattage (Expérience 2, n=20 porcs croisés Piétrain x LW par lot, 10 mâles castrés et 10 femelles).

	Unique	Multiphase		Sexe		Signif. Stat. (1)		
	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Castrés	Femelles	S \bar{x}	Sexe	Lot
Croissance (2)								
Aliment, kg/j	1,80 ab	1,82 a	1,74 b	1,79	1,78	0,02	ns	*
EN, Mcal/j	4,13	4,21	4,14	4,16	4,16	0,05	ns	ns
GMQ, g/j	647	675	662	665	668	12,9	ns	ns
IC, kg/kg	2,79 a	2,70 ab	2,65 b	2,68	2,74	0,04	ns	*
IC, Mcal EN/kg	6,41	6,26	6,28	6,39	6,24	0,08	ns	ns
Finition (3)								
Aliment, kg/j	2,68a	2,64a	2,57b	2,66	2,60	0,02	*	**
EN, Mcal/j	6,16	6,16	6,13	6,21	6,09	0,04	**	ns
GMQ, g/j	906a	844b	851b	869	866	12,2	ns	**
IC, kg/kg	2,97 b	3,13 a	3,04 ab	3,06	3,02	0,04	ns	*
IC, Mcal EN/kg	6,82 b	7,30a	7,25a	7,17	7,07	0,10	ns	**
Période totale								
Aliment, kg/j	2,21 a	2,24 a	2,16 b	2,21	2,19	0,02	ns	**
EN, Mcal/j	5,09	5,20	5,13	5,17	5,11	0,04	ns	ns
GMQ, g/j	768	761	756	758	765	10,5	ns	ns
IC, kg/kg	2,89	2,94	2,87	2,93	2,87	0,03	ns	ns
IC, Mcal EN/kg	6,64	6,84	6,83	6,83	6,70	0,08	ns	ns
Composition corporelle								
Rendement chaud, %	81,9 b	82,6 a	82,8 a	82,4	82,5	0,24	ns	*
X ₂ , mm	19,0	19,6	20,6	20,8	18,7	0,61	**	ns
X ₄ , mm	15,5b	17,2a	17,9a	17,8	15,9	0,53	**	**
Bardière, %	9,21	9,64	10,04	9,88	9,35	0,27	ns	ns
Gras, %	20,6	21,6	22,2	21,9	21,0	0,54	ns	ns
Longe, %	33,4	33,2	33,2	32,9	33,6	0,28	*	ns
Jambon, %	24,8	24,7	24,5	24,7	24,6	0,22	ns	ns
Muscle CEE, %	54,8	53,8	53,6	53,0	55,1	0,46	**	ns

(1) voir tableau 4.

(2) de 30,8 à 60,9 kg des poids vif et de 77 à 125 j d'âge en moyenne.

(3) de 60,9 à 100,6 kg des poids vif et de 125 à 171 j d'âge en moyenne.

2.2. Bilan des rejets azotés

En l'absence de différence dans les performances de croissance, le calcul des quantités d'azote retenu ne fait pas plus ressortir de différence entre les traitements. Parallèlement à la diminution de la quantité d'azote ingéré avec l'alimentation multiphase et l'amélioration de l'équilibre en acides aminés des régimes, on observe une réduction de la quantité d'azote excrété, plus importante dans l'expérience 1 que dans l'expérience 2, en raison d'une vitesse de croissance plus élevée (+90 g/j en moyenne). Pour un même profil de composition en acides aminés (rapport lysine/MAT=0,05), la conduite multiphase (lot2) entraîne, par rapport à l'aliment unique, une diminution de la quantité d'N excrété par porc de 3,56 à 3,20 kg dans l'expérience 1, soit -10%, et de 3,67 à 3,58 dans l'expérience 2, soit -2,5%. Associée à une réduction du taux azoté, la conduite multiphase

permet une diminution importante de la quantité d'N excrété : avec une supplémentation en lysine, méthionine et thréonine (rapport lysine/MAT=0,06), respectivement -34% et -29% dans les expériences 1 et 2; avec polysupplémentation en acides aminés (rapport lysine/MAT=0,07), 1,83 kg d'N excrété par porc contre 3,56 dans l'expérience 1, soit -49%. Après déduction des pertes d'N sous forme d'ammoniac, la quantité estimée d'N dans le lisier par porc engraisé a diminué, dans l'expérience 1, de 2,74 kg avec l'aliment unique à 1,41 kg avec la conduite multiphase utilisant une protéine alimentaire proche de la protéine idéale. À partir des résultats du lot 4, on peut déduire que la quantité minimale d'N excrété s'élève à 24,7 g par kg de gain de poids vif ou 9,4 g par kg d'aliment ingéré entre 25 et 100 kg. En utilisant ce seuil d'excrétion d'N comme référence, le niveau d'excrétion avec l'aliment unique, dans l'expérience 1, se situe à près de 200% du rejet minimum réalisable.

Tableau 6 - Influence de la conduite alimentaire sur l'ingestion et le rejet d'azote (kg/porc)

	Unique	Multiphase			Signif. Stat. (1)	
	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	S \bar{x}	P
Expérience 1						
N ingéré	5,43 a	5,05 b	4,23 c	3,64 d	0,06	**
N retenu (2)	1,87	1,86	1,87	1,81	0,02	ns
N excrété	3,56 a	3,20 b	2,36 c	1,83 d	0,06	**
N excrété, g/kg gain PV	46,8 a	42,8 b	31,2 c	24,7 d	0,96	**
N excrété, g/kg aliment	17,5 a	16,2 b	12,0 c	9,4 d	0,17	**
N lisier (3)	2,74 a	2,46 b	1,82 c	1,41 d	0,05	**
Expérience 2						
N ingéré	5,41 a	5,33 a	4,36 b	-	0,07	**
N retenu (2)	1,74	1,75	1,74	-	0,02	ns
N excrété	3,67 a	3,58 a	2,61 b	-	0,07	**
N lisier (3)	2,83 a	2,76 a	2,01 b	-	0,06	**

(1) voir tableau 4.

(2) déterminé d'après Guillou et al. (1993).

(3) en tenant compte d'une émanation d'ammoniac dans le bâtiment de 23 % (Guillou et al., 1993).

3. DISCUSSION.

Les nombreux travaux réalisés au cours des années écoulées pour réduire préventivement les rejets azotés chez le porc en croissance ont surtout visé à abaisser les intrants azotés alimentaires parallèlement à une supplémentation par les acides aminés les plus limitants, selon le mode d'alimentation (à volonté ou restreint). Dans le cas le plus simple il s'est agi d'utiliser un aliment unique sur l'ensemble de l'engraissement (HARRISON et al., 1989; COPPOOLSE et al., 1990; HENRY et BOURDON, 1993; VALAJA et al., 1993; QUINIOU et al., 1994). D'autres auteurs ont considéré la séquence croissance-finition (GATEL et al., 1991; LATIMIER et CHATELIER, 1992; LATIMIER et al., 1993; JONDREVILLE et al., 1995) ou un mode d'alimentation en trois phases (LENIS, 1989; JONGBLOED et LENIS, 1992; KIENZLE, 1992; CHAUVEL et GRANIER, 1994). L'économie d'intrant ou la réduction des pertes nutritionnelles d'azote a conduit à des résultats varia-

bles selon la conduite alimentaire ou le type de régime. Ainsi, d'après HENRY et PEREZ (1986), la réduction du taux azoté avec l'apport de lysine supplémentaire est d'autant plus aisée que le déséquilibre initial par excès de protéines par rapport à la lysine est plus important, comme c'est le cas d'un régime à base de blé vis-à-vis d'un régime à base de maïs. De même, la séquence croissance-finition autorise une diminution des rejets azotés plus importante qu'avec un régime unique (DOURMAD et HENRY, 1994), dont l'emploi généralisé a été encouragé jusqu'à une période récente par la conjoncture économique précédant l'application de la nouvelle PAC (faible coût des protéines relativement à l'énergie) et pour des raisons de commodité (investissement moindre en stockage d'aliment). Globalement, la plupart des études ont confirmé la possibilité d'abaisser la teneur en protéines de 1,5 à 2 points avec une simple supplémentation en lysine industrielle, correspondant à une réduction des intrants azotés de 15 à 20%, voire davantage (25%).

L'originalité de notre étude a été de considérer la conduite alimentaire multiphase en combinaison avec l'amélioration de l'équilibre en acides aminés jusqu'au stade de la protéine idéale. Il est ainsi techniquement possible, dans des conditions de production bien définies, d'abaisser la quantité d'azote excrété par porc produit jusqu'à un seuil situé à environ 50% du niveau habituel de rejet obtenu avec un aliment unique. Réciproquement, on peut considérer que le niveau moyen des rejets actuels atteint 200% de ce seuil de référence. Ces résultats permettent de valider expérimentalement les hypothèses émises à partir d'études prévisionnelles (ROTH et KIRCHGESSNER, 1993) ou de simulation (HENRY et DOURMAD, 1993). Globalement sur l'ensemble de la période expérimentale, les performances de croissance et la composition corporelle sont similaires dans les différents lots (Expérience 1). Toutefois, la légère diminution des performances de croissance entre 25 et 60 kg avec l'aliment unique suggère que ce dernier a pu être limitant en lysine au tout début de la période. Une croissance compensatrice chez ces animaux (KYRIAZAKIS et al., 1991 ; De GREEF et al., 1992) pourrait expliquer des performances légèrement supérieures en finition, comparativement à la conduite multiphase. Néanmoins, on peut suspecter également un apport sub-limitant en acides aminés dans les régimes «multiphase» pendant la phase terminale de l'engraissement. En effet, en moyenne sur la totalité de la période expérimentale, l'apport de lysine digestible/kg de gain de poids vif dans les lots «multiphase» s'élève à 18,4 g, ce qui correspond juste au besoin, sans marge de sécurité (HENRY et DOURMAD, 1993), ceci d'autant plus que nous avons appliqué une progression linéaire dans la diminution du pourcentage de lysine dans l'aliment avec le poids vif. Par ailleurs, il semble que ces phénomènes aient été amplifiés dans l'expérience 2 en raison peut-être de conditions de milieu d'élevage et d'environnement thermique moins favorables. Ceci a d'ailleurs fortement limité la réduction des rejets dans le lot 2 (2,5% seulement par rapport au régime unique au lieu de 10% dans l'expérience 1). Dans l'ajustement de l'apport énergétique, le choix de l'EN, comparativement à l'ED (HENRY et PEREZ, 1986 ; VALAJA et al., 1993), a permis d'éviter l'augmentation de l'état d'adiposité

des carcasses avec l'abaissement du taux azoté. Toutefois, en particulier dans l'expérience 2, la légère augmentation de l'épaisseur de lard dorsal semble confirmer l'hypothèse d'une légère déficience en acides aminés pendant la phase terminale d'engraissement.

CONCLUSION

La technique d'alimentation multiphase en association avec la réduction du taux azoté et l'amélioration de l'équilibre en acides aminés, chez le porc en croissance, a permis par rapport à un aliment unique d'abaisser l'excrétion azotée de 50%, dont 10% seulement peuvent être attribués à la conduite multiphase. Il semble donc que techniquement, pour un type de régime donné, la réduction de la teneur en protéines s'avère plus efficace que la modification de la conduite alimentaire. Cependant, cette approche devient vite très coûteuse du point de vue économique, du fait de la polysupplémentation en acides aminés industriels, alors que la modification de la conduite alimentaire n'entraîne pas de surcoût de formulation. Sur le plan économique, il semble que la solution optimale réside dans la combinaison des deux approches, la modification de la conduite alimentaire en constituant la première étape (DOURMAD et al., 1995). Quoi qu'il en soit, la conduite multiphase nécessite une bonne connaissance de l'évolution des besoins alimentaires et de leurs facteurs de variation, dans la mesure où on limite les marges de sécurité, sans possibilité de compensation par l'animal. Il s'agit là d'une technique efficace mais dont la mise en oeuvre peut être délicate, si l'on veut maintenir les performances à leur niveau optimum.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme européen (DG VI, contrat N° 91-0112) «*Reduction of nitrogen output in pig effluents through a better control of dietary protein supply*».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHAUVEL J., GRANIER R., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 97-106.
- COPPOOLSE J., LENIS N.P., VAN DIEPEN J.T.M., 1990. Rapport IVVO N° 212, Lelystad.
- De GREEF K. H., KEMP B., VERSTEGEN M.W.A., 1992. Livest. Prod. Sci., 30, 141-151.
- DESMOULIN B., ÉCOLAN P., BONNEAU M., 1988. INRA Prod. Anim. 1, 1, 59-64.
- DOURMAD J.Y., HENRY Y., 1994. INRA Prod. Anim. , 7, (sous presse).
- DOURMAD J.Y., GUILLOU D., NOBLET J., 1992. Livest. Prod. Sci., 31, 95-107.
- DOURMAD J.Y., LE MOUËL C., RAINELLI P., 1995. INRA Prod. Anim., 8, (sous presse).
- GATEL F., BERTIN J.M., GROSJEAN F., 1991. Journées Rech. Porcine en France, 23, 85-90.
- GUILLOU D., DOURMAD J.Y., NOBLET J., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 307-314.
- HARRISSON M.D., CAMPBELL D.R., WALKER W.R., COMBS G.E., 1989. Nutr. Rep. Internat., 39, 1027-1036.
- HENRY Y., 1993. INRA Prod. Anim. , 6, 199-212.
- HENRY Y., BOURDON D., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 263-272.
- HENRY Y., DOURMAD J.Y., 1993. Feeding strategy for minimising nitrogen output in pigs. *in* International Congress on «Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences», Pudoc Wageningen, 137-150.
- HENRY Y., PEREZ J.M., 1986. Journées Rech. Porcine en France, 18, 57-66.
- JONBLOED A.W., LENIS N.P., 1992. Livest. Prod. Sci. , 31, 75-94.
- JONDREVILLE C., GATEL F., GROSJEAN F., CALLU P., BRINET P., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 279-284.
- KIENZLE E., 1992. Dtsch. Tierärztl. Wschr., 99, 92-94.
- KYRIAZAKIS I., STAMATARIS C., EMMANS G.C., WHITTEMORE C.T., 1991. Anim. Prod., 52, 165-173.
- LATIMIER P., CHATELIER C., 1992. Journées Rech. Porcine en France, 24, 227-236.
- LATIMIER P., DOURMAD J.Y., CORLOUER A., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 295-300.
- LENIS ,1989. Netherland J. Agr. Sci., 37, 61-70.
- NOBLET J., FORTUNE H., DUBOIS S., HENRY Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA ed., Paris, 106 pp.
- QUINIOU N., DOURMAD J.Y., HENRY Y., BOURDON D., GUILLOU D., 1994. Journées Rech. Porcine en France, 26, 287-294.
- ROTH F.X., KIRCHGESSNER M., 1993. Züchtungskunde, 65, 420-429.
- RPN, 1993. Nutrition Guide. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. Rhône Poulenc Animal Nutrition, Antony, 55 pp.
- SAS, 1990. SAS User's Guide Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
- VALAJA J., ALAVIUHKOLA T., SUOMI K., 1993. Agric. Sci. Finl., 2, 117- 123.