

Influence de l'alimentation et des performances sur les rejets azotés des porcs

L'élimination des déjections animales constitue un problème crucial dans plusieurs régions européennes à forte densité de production, en raison principalement des risques de pollution des eaux par les nitrates et de l'air par les émanations d'ammoniac. Les techniques de traitement visant à l'épuration totale ou partielle des effluents ont été largement étudiées, mais leur développement est resté très limité, en raison des coûts élevés d'investissement et de fonctionnement.

C'est pourquoi, plus récemment, on a envisagé des solutions préventives visant à réduire les rejets azotés à la source. Après deux années de recherches sur ce sujet nous nous proposons de faire le point sur les différentes approches possibles au niveau de l'animal et de l'aliment.

Dans les régions de productions animales intensives, l'élimination des déjections est parfois difficilement conciliable avec la protection de l'environnement. Au-delà du phéno-

mène de concentration de l'élevage, l'intensification s'est accompagnée d'une production de plus en plus abondante de lisier, associée à un niveau élevé de nuisances olfactives. Ces déjections sont riches en éléments organiques et minéraux qui risquent d'entraîner des pollutions de l'air et de l'eau. En particulier, l'azote présent dans les déjections pose des problèmes liés à la fois aux émanations gazeuses (ammoniac et oxydes d'azote) impliquées dans les pluies acides ou l'effet de serre, et à l'enrichissement des eaux superficielles ou souterraines en nitrates (Fleming 1991, Steffens et Benedetti 1991).

Résumé

Dans les zones de production porcine intensive, l'élimination des déjections devient un problème crucial, en raison principalement des risques de pollution des eaux par les nitrates et des émanations d'ammoniac. L'azote excrété dans les urines et les fèces correspond à la fraction de l'apport alimentaire non retenue dans les protéines corporelles. Dans les conditions habituelles d'alimentation, le porc à l'engrais excrète en moyenne l'équivalent de 15 à 20 % de l'azote ingéré, par voie fécale, et 40 à 45 % par voie urinaire, soit au total environ 60 à 70 % de l'ingéré. La modélisation permet de prévoir avec précision l'importance des rejets azotés en fonction des apports alimentaires de protéines et des performances des animaux. Les différents résultats disponibles montrent qu'il est possible de réduire préventivement les rejets azotés des porcs, en modifiant la stratégie d'alimentation ou les performances. Un aliment adapté à chaque stade physiologique et un meilleur ajustement de l'équilibre en acides aminés, constituent deux méthodes complémentaires et efficaces pour réduire l'excrétion azotée des animaux. Une réduction de 15 à 25 % des rejets d'azote dans le lisier et des émanations d'ammoniac dans l'atmosphère peut être envisagée, sans augmentation importante du coût alimentaire. On peut également souligner l'effet intéressant de l'amélioration du niveau des performances, sur la limitation des rejets. En période de reproduction, le paramètre le plus important est le nombre de porcelets produits par truie et par an, alors que, chez le porc en croissance, l'excrétion est principalement affectée par l'indice de consommation.

L'élimination des déjections animales constitue de ce fait un problème crucial dans plusieurs régions européennes à forte densité de production (Pays-Bas, Danemark, Belgique, Italie, Ouest de la France...). Dans ces situations particulières, l'épuration locale des effluents par leur utilisation agronomique n'est plus suffisante et d'autres solutions doivent être envisagées. La Commission des Communautés Européennes a subventionné un grand nombre d'études sur les techniques visant à réduire la charge de pollution azotée des lisiers, dans le cadre d'un programme de

recherches sur les effluents des élevages intensifs (Gasser 1980). Un large éventail de procédés technologiques avait alors été exploré, mais l'élimination de l'azote résultait souvent d'une conversion des formes organiques en ammoniac, dégagé dans l'atmosphère. De plus, les coûts élevés d'investissement et de fonctionnement ont souvent limité le développement de ces techniques de traitement.

Des mesures préventives ont également été proposées, il s'agit essentiellement de réduire les pertes nutritionnelles d'azote et donc d'améliorer l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires par l'animal (Lenis 1987, Schutte et Bosch 1990, Dourmad et Guillou 1991, Henry 1991, Tamminga et Verstegen 1991, Gatel et Grosjean 1992).

1 / Origine et voies d'excrétion de l'azote

L'azote excrété correspond à la part d'azote alimentaire qui n'est pas retenue par l'animal sous la forme de protéines corporelles (porc en croissance) ou exportée dans le lait (troupe en lactation). On peut ainsi distinguer deux composantes principales :

- la fraction azotée non digérée et éliminée dans les fèces (principalement sous la forme de protéines végétales et bactériennes). L'importance relative de cette fraction par rapport à la quantité ingérée dépend essentiellement de la digestibilité des protéines du régime et donc des matières premières qui le constituent. On retrouve également dans les fèces une partie de l'azote endogène provenant du renouvellement de la paroi intestinale et des sécrétions digestives.

- la fraction excrétée dans l'urine, en grande partie sous la forme d'urée. Elle est issue de l'oxydation (principalement dans le foie) des acides aminés sanguins non utilisés pour la synthèse protéique. L'importance de cette fraction dépend à la fois de la bonne adéquation qualitative et quantitative de l'apport d'acides aminés aux besoins de l'animal.

Si l'on considère le porc à l'engrais, ce dernier, dans les conditions habituelles d'alimentation, excrète en moyenne l'équivalent de 15 à 20 % de l'azote ingéré par voie fécale et 40 à 45 % par voie urinaire, soit au total environ 60 à 70 % de la quantité ingérée (figure 1).

Les fractions azotées excrétées dans les fèces (fraction solide) et l'urine (fraction liquide) représentent alors respectivement un peu moins de 1/3 et un peu plus de 2/3 des rejets totaux. Au delà des émissions fécales et urinaires, directement liées à l'animal et au régime alimentaire, l'azote des rejets subit des modifications sous l'effet des fermentations microbiennes, dans le sens d'une minéralisation sous forme d'azote ammoniacal et, plus accessoirement, en amines complexes. Ces transformations ont lieu très rapidement après l'excrétion sous le caillebotis ou pendant le stockage de l'effluent.

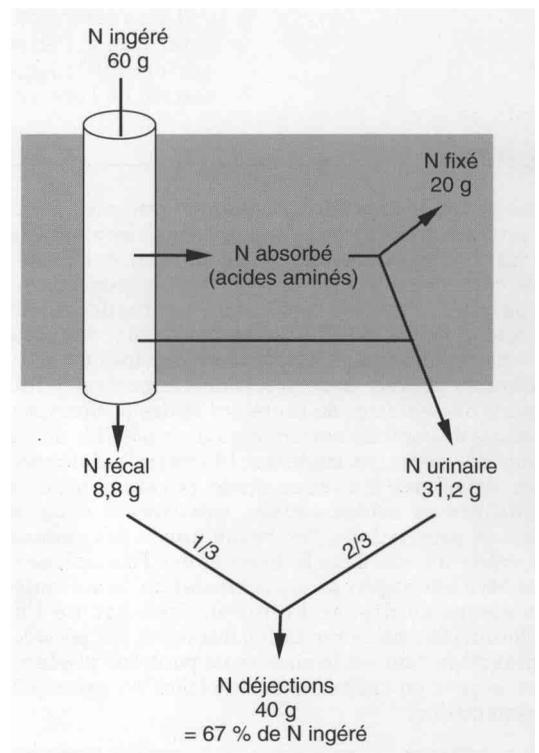
2 / Estimation des rejets azotés

La prise en compte des différents facteurs de variation de la rétention azotée (figure 1) permet de déterminer l'excrétion des animaux à partir de leurs performances zootechniques et de l'ingestion de protéines. Un modèle de calcul des rejets azotés des porcs aux différents stades physiologiques a ainsi été développé par Dourmad *et al* (1992) afin d'estimer les rejets azotés au niveau de l'élevage.

Dans ce modèle, le rejet azoté est obtenu par différence entre l'azote ingéré et l'azote retenu par l'animal. Pour la période de gestation, la rétention azotée est calculée en fonction des apports alimentaires de protéines et d'énergie, du numéro de portée et du stade de gestation. Pendant la lactation, le bilan azoté est calculé à partir de la croissance de la portée. Durant la période d'engraissement, la rétention azotée est calculée en fonction de la vitesse de croissance de l'animal et du pourcentage attendu de muscle dans la carcasse à l'abattage. Ce modèle permet de considérer les effets des performances (productivité numérique, vitesse de croissance, indice de consommation et teneur en muscles) et des techniques d'alimentation (nombre et composition des régimes), et donne, en fonction du mode de logement, une estimation de la fraction azotée émise sous forme gazeuse avant stockage.

On peut, à titre d'exemple, déterminer l'excrétion azotée d'un élevage naisseur-engraisseur de 100 truies (89 truies productives) produisant 1900 porcs charcutiers par an. Le poids vif et le pourcentage moyen de muscle à l'abattage sont respectivement de 105 kg et 54 %. Les pratiques alimentaires retenues sont celles utilisées classiquement : aliment à 14% de MAT en

Figure 1. Utilisation de l'azote ingéré par un porc de 60 kg.



Le porc à l'engrais rejette près de 70 % de l'azote ingéré.

Tableau 1. Répartition de l'excrétion azotée entre les différents stades physiologiques, pour une unité de 100 truies naisseur-engraisseur (89 truies productives) produisant 1900 porcs par an (d'après Guillou et al 1993).

	Par animal					Elevage		
	Ingéré N g/j	Excrété N g/j	Excrété % ing	Excrété N kg	Effluent N kg ⁽¹⁾	Excrété N kg/an	Effluent N kg/an	Effluent % total
Truies								
. Gestation	61	45	75			1064	819	9,3
. Lactation ⁽²⁾	150	98	61			566	436	5,0
. ISSF ⁽²⁾	61	47	78			143	110	1,3
. Renouvellement	65	53	80			96	73	0,8
. Réforme	61	50	82			109	84	1,0
Total/truie présente	75	53	71	19,5⁽³⁾	15,0⁽³⁾	1978	1522	17,3
Verrats	54	46	86	17,0⁽³⁾	13,1⁽³⁾	85	65	0,7
Post-sevrage	26	14	52	0,48 ⁽⁴⁾	0,37 ⁽⁴⁾	934	719	8,2
Engraissement	57	40	70	4,4 ⁽⁴⁾	3,4 ⁽⁴⁾	8401	6469	73,7
Total sevrage-vente				4,9 ⁽⁴⁾	3,8 ⁽⁴⁾	9335	7188	81,9
Total Elevage			68			11400	8775	100

⁽¹⁾ la quantité d'azote de l'effluent est calculée pour des bâtiments en caillebotis intégral, les émanations gazeuses représentant 23% de l'azote excrété par les animaux (tableau 2).

⁽²⁾ y compris les rejets des porcelets allaités. ISSF : Intervalle sevrage-saillie fécondante

⁽³⁾ par an.

⁽⁴⁾ par porc produit.

gestation et 17% en lactation, aliment unique en engraissement (16,5% de MAT). Les performances zootechniques correspondent aux performances moyennes des élevages suivis en gestion technico-économique (Dagorn et al 1990).

Le calcul de l'excrétion azotée pour les différents stades physiologiques (tableau 1) montre l'importance de la phase d'engraissement. L'excrétion azotée moyenne par porc produit s'élève à 6 kg, dont respectivement 18 - 8 et 74% sont rejetés au cours des phases de reproduction, de post-sevrage et d'engraissement. Dans le cas d'un bâtiment en caillebotis intégral, les émanations gazeuses représentent environ 23% de la quantité excrétée (tableau 2), on peut alors évaluer la quantité d'azote rejeté dans le lisier à 15 kg par truie présente et par an et à 3,8 kg par porc produit entre le sevrage et la vente, dont 3,4 kg après 25 kg de poids vif. Si l'on fait l'hypothèse que la volatilisation de l'azote dans le bâtiment se fait en totalité sous la forme d'ammoniac, ceci correspond à 1,7 kg de NH₃ par porc produit ou encore à 3,2 tonnes par an pour l'ensemble de l'élevage.

3 / Diminuer les rejets en améliorant l'alimentation

Différentes possibilités sont envisageables pour améliorer l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires et diminuer ainsi les rejets d'azote :

- réduire la fraction de l'azote excrété grâce à 1) une meilleure adéquation des apports protéiques aux besoins des animaux, suivant leur stade physiologique et leurs potentialités pour la croissance ou la reproduction, 2) la

recherche d'un meilleur équilibre des protéines du régime en acides aminés, par une stratégie raisonnée au niveau de la formulation.

- réduire la fraction de l'azote indigestible, rejeté dans les fèces, grâce à une meilleure connaissance de la digestibilité des protéines du régime, et notamment des acides aminés.

3.1 / Ajuster les apports de protéines aux besoins des animaux

Les besoins nutritionnels des porcs évoluent en fonction du stade physiologique. Pour l'énergie, une bonne adéquation des apports aux besoins peut être obtenue par la mise en place d'un plan d'alimentation. Par contre, pour les protéines et les acides aminés, l'adéquation aux besoins nécessiterait de pouvoir faire varier sans cesse le rapport protéines/énergie en fonc-

Tableau 2. Estimation de l'influence du type de bâtiment sur l'importance des émanations gazeuses d'ammoniac en engraissement. D'après Pessara et al (1992) et Hoeksma et al (1992).

Type de bâtiment	Ventilation	émissions gazeuses		
		g par porc g/j	% ⁽¹⁾	% ⁽²⁾
Caillebotis intégral	basse	9,6	100	25
Caillebotis intégral	haute	7,6	80	20
Caillebotis partiel	haute	6,8	70	17,5
Caillebotis intégral avec "flushing" du lisier	haute	3	30	7,5
Cage de digestibilité	-	-	-	4 - 7

⁽¹⁾ exprimé en pourcentage du caillebotis intégral avec ventilation basse.

⁽²⁾ exprimé en pourcentage de l'excrété.

La quantité d'azote rejeté dans le lisier s'élève à 15 kg par truie et par an et à 3,8 kg par porc engraisé (du sevrage à la vente).

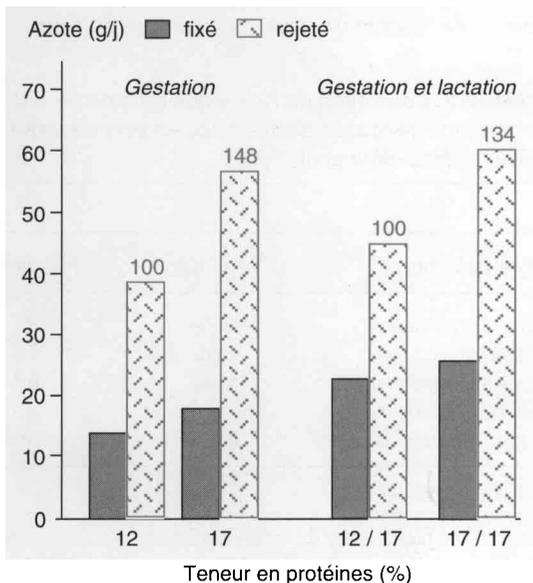
tion du stade de croissance, ce qui n'est pas réalisable avec un seul aliment. En pratique, différentes formules sont proposées par les fabricants d'aliments, adaptées aux différentes phases de la vie de l'animal.

Au cours des dernières années, on a assisté à une réduction du nombre des formules utilisées dans un même élevage, par souci de simplification et également en raison d'une conjoncture de faible coût de l'énergie apportée par les sources de protéines. Ainsi, pour le porc à l'engrais, on utilise souvent un aliment unique "croissance - finition" et, pour la truie reproductrice, un aliment unique "gestation - lactation". Ces formules "uniques", d'une teneur en MAT voisine de 17 %, doivent donc permettre la couverture des besoins pour chacune des périodes et présenter les caractéristiques correspondant à la phase la plus exigeante : la phase initiale de la croissance pour le porc à l'engrais et la lactation pour la truie reproductrice. Ceci entraîne un gaspillage de protéines et une augmentation des pertes fécales et surtout urinaires d'azote aux autres périodes. Par rapport à cette situation on peut évaluer l'impact d'une meilleure adéquation des apports aux besoins, à chaque stade physiologique.

a / Chez la truie reproductrice

Les besoins azotés de la truie varient beaucoup au cours du cycle gestation - lactation. En lactation, la truie exporte des quantités considérables d'azote dans le lait, ce qui se traduit par un besoin très important en protéines et en acides aminés. De plus, en raison d'une consommation insuffisante en lactation, il est souvent nécessaire d'augmenter la teneur de l'aliment en acides aminés afin d'assurer un apport journalier suffisant (Etienne *et al* 1989, Dourmad *et al* 1991). En gestation, au contraire, les besoins sont nettement moindres et un aliment présentant une teneur moyenne en protéines de 12 % permet de couvrir les besoins (Dourmad *et al*

Figure 2. Influence de la conduite alimentaire de la truie sur l'excrétion azotée (g/j) en gestation et sur l'ensemble du cycle de reproduction.



La distribution de 2 aliments différents au cours de la gestation puis de la lactation entraîne une réduction des rejets azotés d'environ 30 %.

1994). Sur cette base, nous avons déterminé les quantités journalières d'azote fixé et rejeté en gestation et sur l'ensemble du cycle pour deux conduites alimentaires : l'une, classique, consistant à distribuer par souci de simplification le même aliment (17 % de protéines) pendant la gestation et la lactation, l'autre, plus proche des besoins de l'animal, caractérisée par la distribution d'un aliment à 12 % de protéines en gestation et 17 % en lactation.

Comme le montre la figure 2, la conduite 1 (aliment unique gestation-lactation) s'accompagne d'une augmentation du rejet moyen journalier d'azote de 48% en gestation et de 34% sur l'ensemble du cycle. L'ampleur de la différence entre les deux conduites s'explique à la fois par le niveau des besoins, plus faible en gestation qu'en lactation, et la durée de chacune des phases, la gestation étant plus longue. Au niveau d'un élevage naisseur-engraisseur de 100 truies ceci représente une réduction de l'excrétion d'azote d'environ 600 kg/an soit l'équivalent de 5% de l'excrétion totale de l'élevage.

b / Chez le porc à l'engraissement

D'une manière générale, la quantité journalière d'azote fixé chez le porc à l'engrais augmente légèrement entre 25 et 50 kg puis tend à se stabiliser par la suite, le niveau maximum étant fonction du type génétique et/ou sexuel de l'animal. Pour quantifier l'impact d'une meilleure adéquation des apports de protéines aux besoins, nous avons envisagé trois hypothèses de conduite alimentaire pour des animaux ayant en moyenne un indice de consommation de 3,0 kg/kg et une teneur en muscle de 54 % à l'abattage. Dans tous les cas on suppose que l'apport d'acides aminés est suffisant :

Conduite 1 : Aliment unique à 17% de protéines.

Conduite 2 : Aliment à 17% de protéines pendant la période de croissance et à 15 % pendant la période de finition (au-delà de 60 kg de poids vif).

Conduite 3 : Passage progressif d'un aliment à 17 % de protéines à 20 kg de poids vif à un aliment à 13 % de protéines à 100 kg. Ceci est obtenu en mélangeant deux aliments (17 % et 13 % de protéines) et en faisant varier progressivement la proportion de chacun d'entre eux. Cette technique d'alimentation, qualifiée parfois de "multiphase", est maintenant envisageable grâce aux systèmes automatiques de mélange et de distribution simultanée de deux aliments, en humide ou en sec.

Par rapport à la conduite basée sur des aliments différents en croissance et en finition (conduite 2), le régime unique (conduite 1) s'accompagne d'une augmentation de 10 % des rejets azotés, tandis que le régime "progressif" (conduite 3) permet une réduction d'environ 8 % (figure 3). Au cours de la période de croissance, la différence de rejet azoté entre les conduites alimentaires reste modeste (-6 % entre 1 et 3, à 60 kg), alors qu'en période de finition l'écart devient très important (-30 % entre 1 et 3, à 100 kg). Globalement, sur l'ensemble de la période d'engraissement, l'excré-

tion azotée par porc diminue de 4,2 à 3,4 kg entre les conduites 1 et 3, et la quantité d'azote rejetée dans le lisier décroît de 3,2 à 2,6 kg par porc. Au niveau d'un élevage naisseur-engraisseur de 100 truies (tableau 1) ceci représente une réduction de l'excrétion d'azote d'environ 1520 kg/an soit l'équivalent de 15 % de l'excrétion totale de l'élevage. Une réduction plus importante et plus rapide des teneurs en protéines des aliments en fonction du stade de croissance serait sûrement envisageable, mais ceci nécessiterait d'adapter plus précisément la conduite en fonction du potentiel de croissance des animaux (sexe, type génétique...). Ces résultats ont été confirmés expérimentalement par la mesure de la quantité d'azote dans le lisier en fin d'engraissement (Latimier *et al* 1993). Dans cet essai, le passage d'un aliment unique (17,8 % de protéines) à deux aliments (17,8 et 15,4 % de protéines) s'est accompagné d'une réduction du rejet d'azote dans le lisier de 0,22 kg par porc produit (2,64 au lieu de 2,86 kg) soit 8 % de moins (tableau 3), alors que les performances de croissance et la qualité des carcasses à l'abattage étaient inchangées.

L'utilisation de la démarche factorielle pour la détermination des besoins permet aujourd'hui d'envisager un ajustement quasi parfait et continu de l'apport protéique aux besoins des animaux, de façon à maximiser les performances tout en minimisant le rejet azoté. Différents modèles de prédiction des performances du porc en croissance ont été développés au cours des dernières années (Whittemore 1983, Black *et al* 1986, Moughan 1989). Cependant ces modèles utilisent des prédicteurs du potentiel de croissance des animaux (protéines fixées par exemple) qui sont difficilement accessibles en pratique. Aussi, nous avons proposé une démarche plus simple permettant de définir les besoins en acides aminés en fonction du potentiel et du stade de croissance, directement à partir des performances de production. Nous allons l'illustrer au travers d'un exemple basé sur des résultats expérimentaux (Karege 1991, Noblet *et al* 1991). Trois types d'animaux sont considérés : des mâles entiers d'une lignée synthétique sélectionnée pour une vitesse de croissance et une teneur en muscle élevées (LSME), des mâles entiers Large White (LWME) et des mâles castrés Large White (LWMC). Les performances moyennes des animaux sont rapportées dans le tableau 4. En moyenne, la consommation d'énergie est plus élevée chez les mâles castrés Large White, en relation avec un dépôt plus important de lipides.

La première étape de la définition d'une stratégie d'alimentation consiste à déterminer l'évolution de l'apport d'énergie en fonction du stade de croissance (figure 4). Selon le potentiel des animaux et la composition corporelle recherchée à l'abattage, on utilisera une alimentation *ad libitum* ou rationnée. Une fois défini le niveau d'apport énergétique, on caractérise le potentiel de dépôt protéique des animaux à partir des performances de croissance obtenues avec des régimes non limitants en acides aminés. Cette caractérisation (figure 5) est basée sur la vitesse de croissance et la

Figure 3. Effet de la stratégie alimentaire au cours de la période de croissance-finition (25-100 kg) sur le rejet azoté : évolution du rejet journalier (courbes) et cumul sur l'ensemble de l'engraissement (histogramme), d'après Dourmad *et al* 1992.

- (1) régime unique à 17 % de MAT,
(2) deux régimes : 17 % MAT de 25 à 60 kg puis 15 %
(3) passage progressif de 17 % MAT à 25 kg à 13 % MAT à 105 kg.

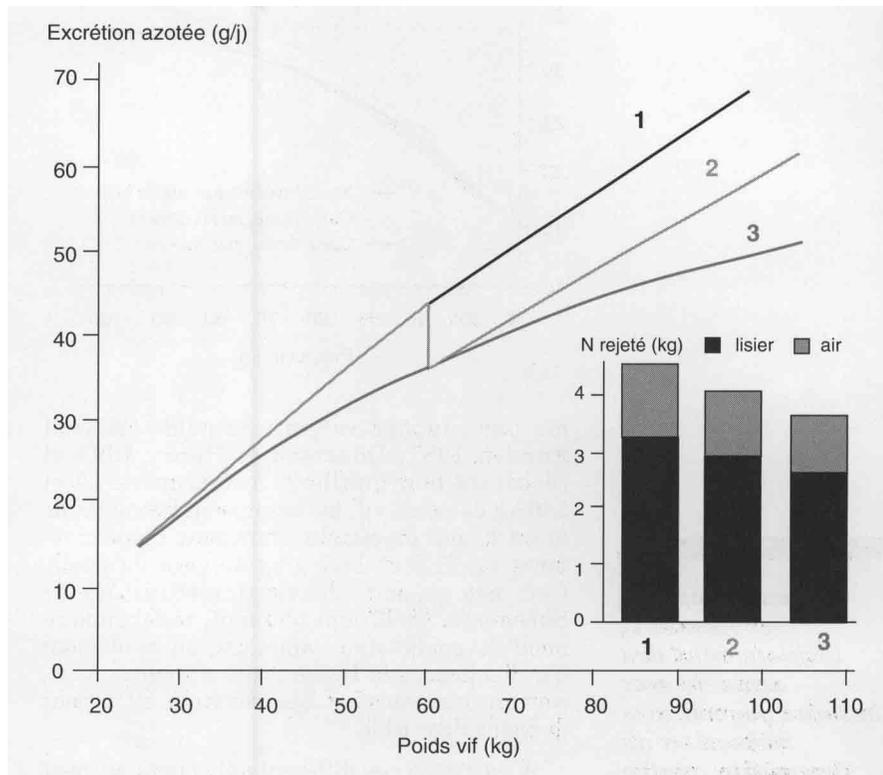


Tableau 3. Influence de l'utilisation de deux aliments en engraissement (R2) et de l'amélioration de la qualité des protéines (R3) sur le rejet azoté chez le porc (d'après Latimier *et al* 1993).

Conduite alimentaire	R1	R2	R3
Teneur en protéines de l'aliment (%)			
- phase de croissance	17,8	17,8	16,2
- phase de finition	17,8	15,4	13,5
Bilan azoté (kg/porc)			
- Azote ingéré	5,70	5,35	4,79
- Azote fixé ⁽¹⁾	1,74	1,74	1,75
- Azote excrété	3,96	3,61	3,04
Lisier produit (litres/porc)	342	336	348
Azote total du lisier (%)	0,835	0,785	0,635
Azote total du lisier (kg/porc)	2,855	2,637	2,210
Emanations gazeuses (kg/porc) ⁽²⁾	1,105	0,973	0,830

⁽¹⁾ Quantité d'azote fixé : calculée en fonction du poids début et fin, de la teneur en muscle de la carcasse (Dourmad *et al* 1992).

⁽²⁾ Emanations gazeuses = azote excrété - azote du lisier

teneur en muscle à 100 kg (Dourmad *et al* 1992).

Par ailleurs, il apparaît que le besoin en lysine pour une croissance maximale est relativement indépendant du poids vif, si on l'expri-

Figure 4. Influence du poids vif et du type d'animal sur la consommation journalière d'énergie, d'après Noblet et al (1991, 1994) et Karege (1991).

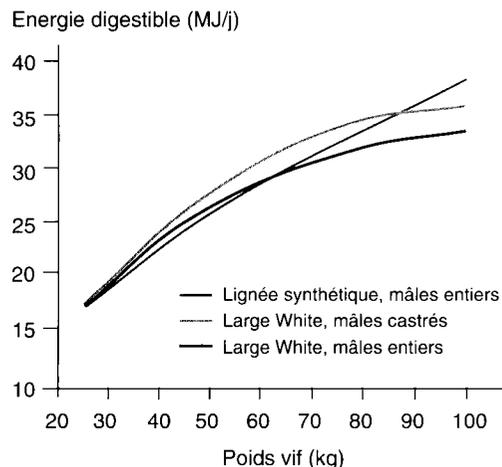
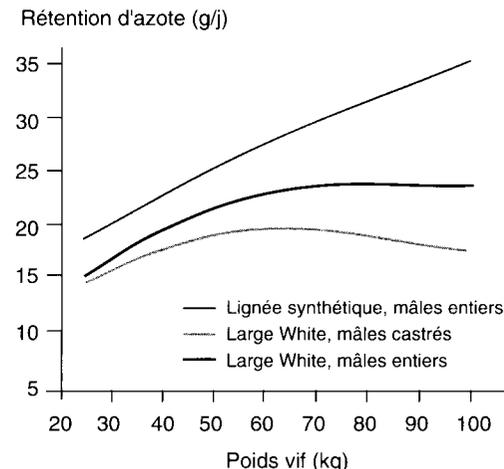


Figure 5. Influence du poids vif et du type d'animal sur la rétention journalière d'azote, d'après Noblet et al (1991, 1994), Karege (1991) et Dourmad et al (1992).



me par rapport au gain de poids (Kaji et Furuya 1987, Dourmad et Henry 1993 et résultats non publiés). Ainsi, entre 10 et 100 kg de poids vif, les besoins en lysine totale et en lysine digestible vraie sont respectivement de 21,5 et 18,7 g/kg de gain de poids. Ceci est en accord avec les résultats de Susenbeth (1993) qui obtenait, indépendamment du poids vif des animaux, un rendement d'utilisation de la lysine brute d'environ 55 %, soit un rendement global d'environ 60 % pour la lysine digestible.

A partir de ces différents éléments on peut déterminer l'évolution du besoin en lysine, exprimé en pourcentage de l'aliment, pour les trois types d'animaux considérés (figure 6). Ce dernier est en relation étroite avec le potentiel de croissance. Chez les animaux les plus performants (LSME), il diminue en début de croissance puis tend à se stabiliser pendant la période de finition, alors que chez les animaux moins performants, la réduction se poursuit jusqu'à la fin de période de finition. L'ajustement des apports aux besoins, en fonction du stade de croissance, doit donc tenir

compte du potentiel des animaux. Dans le cas de l'utilisation de deux aliments successifs, on peut ainsi en déduire que le poids optimum pour le changement d'aliment se situe vers 40-50 kg pour les animaux LSME contre 55-60 kg pour les animaux Large-White. Le passage à deux aliments s'accompagne également d'une réduction plus importante des rejets azotés (-21 %) chez les animaux les moins performants (tableau 4). De même, lorsque l'on utilise un système d'alimentation multiphase, la réduction de l'excrétion azotée atteint 36 % chez les mâles castrés LWMC contre seulement 22 % en moyenne pour les mâles entiers.

L'impact d'une meilleure adaptation des apports de protéines sur les rejets azotés, en fonction du stade de croissance, dépend donc du potentiel des animaux et il est d'autant plus important que les animaux sont peu performants. La réponse maximale est obtenue dans le cas d'une alimentation multiphase, basée sur le mélange progressif de deux ou plusieurs aliments. Sur le plan de la formulation, ce type d'alimentation présente d'autres avantages. Les problèmes de transition entre

Chez le porc en croissance, l'ajustement des apports aux besoins permet une réduction de l'excrétion azotée d'autant plus importante que les animaux sont peu performants.

Tableau 4. Influence de la conduite alimentaire et du potentiel de croissance sur l'excrétion azotée (kg/porc de 25 à 100 kg) pour un rapport lysine/protéines de 6 % (entre parenthèses, pourcentages par rapport à l'aliment unique).

	Lignée synthétique	Large White	Large White
	mâles entiers	mâles entiers	mâles castrés
Performances			
Energie métabolisable (MJ/j)	25,9	26,4	28,8
Gain de poids vif (g/j)	979	875	737
Gain de protéines (g/j)	150	141	113
Gain de lipides (g/j)	145	181	220
Excrétion azotée (kg/porc)			
Aliment unique	3,6 (100)	3,6 (100)	4,6 (100)
Croissance-Finition	3,0 (85)	3,2 (89)	3,6 (79)
Multiphase	2,7 (76)	2,8 (80)	3,0 (64)

aliments disparaissent, ce qui permet de formuler les régimes de façon indépendante sur le plan des matières premières. On peut également envisager des taux d'incorporation plus élevés pour certaines matières premières "à risque", mieux tolérées pendant la période de finition, ce qui peut permettre éventuellement une réduction du coût alimentaire. Cependant, l'alimentation croissance-finition ou multiphasée nécessite des systèmes de distribution plus sophistiqués, dont le coût doit être pris en compte dans l'évaluation économique finale.

3.2 / Un meilleur équilibre des protéines du régime

Le profil des besoins en acides aminés du porc est assez proche de la composition des protéines déposées dans le muscle chez le porc en croissance (Wang et Fuller 1989, Henry 1993), ou exportées dans le lait chez la truie en lactation (Dourmad *et al* 1992). Les protéines

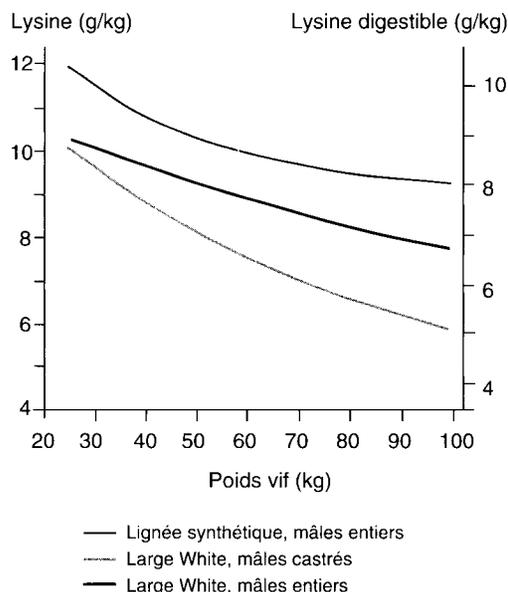
1988). Dans ce cas, l'acide aminé limitant primaire est la lysine, la teneur en protéines du régime est de 17% et le rapport lysine/protéines (qui constitue ainsi un indicateur de la qualité des protéines du point de vue de leur équilibre en acides aminés) de 5%. Si l'on procède à une supplémentation en lysine industrielle, une incorporation de 14 à 15% de tourteau de soja est suffisante, la teneur du régime en protéines est alors de 15,5% et le rapport lysine/protéines de 5,7%. En supplémentant à la fois en lysine, en thréonine, en méthionine et en tryptophane, 7% de tourteau de soja suffisent et la teneur en protéines du régime est de 12% seulement. Le rapport lysine/protéines est alors de 6,5%, soit une valeur proche de celle de la protéine idéale (6,8 à 7%, Henry 1993). Cet exemple montre bien les possibilités techniques de réduction de la teneur en protéines du régime par l'incorporation d'acides aminés industriels. L'opportunité économique de cette approche dépend en fait du prix relatif des matières premières riches en protéines par rapport aux acides aminés industriels.

La réduction de la teneur en protéines du régime s'accompagne d'une diminution des rejets azotés, qu'on peut estimer à 8% par point de diminution de la teneur en protéines de l'aliment d'engraissement, soit environ 350 g/porc produit (Dourmad et Guillou 1991). Au niveau d'un élevage naisseur-engraisseur de 100 truies (tableau 1) ceci représente une réduction de l'excrétion d'azote d'environ 700 kg/an par point de diminution de la teneur en protéines de l'aliment d'engraissement, soit l'équivalent de 6% de l'excrétion totale de l'élevage. Ceci a été confirmé expérimentalement par Latimier *et al* (1993). Dans cet essai (tableau 3), l'amélioration de l'équilibre en acides aminés des régimes de croissance et de finition (R3) s'accompagne d'une réduction de la quantité d'azote dans le lisier de 0,43 kg par porc (2,21 contre 2,64 kg), soit 20%. Comparativement au régime unique à 17,8% de protéines, la réduction est de 0,65 kg par porc produit. De même, Quiniou *et al* (1994) observent, pour différents types génétiques, une réduction de l'excrétion azotée à la suite d'une diminution de la teneur en protéines du régime accompagnée d'un rééquilibrage en acides aminés (tableau 5). Lorsque le régime est correctement supplémenté en acides aminés industriels, on peut donc réduire la teneur en protéines sans modifier la croissance des animaux ni l'indice de consommation. Cependant, avec un régime à très faible teneur en protéines (10,5%), quoique rééquilibré en acides aminés, Kies *et al* (1992) notent une réduction des performances de croissance, ce qui révèle sûrement un apport globalement insuffisant de protéines. En pratique, on peut retenir pour le porc à l'engrais, une valeur limite de 6,5% pour le ratio lysine/protéines. Au-delà de cette valeur, qui est proche du ratio dans la protéine "idéale", l'apport total de protéines risque lui-même d'être insuffisant (Henry et Dourmad 1993).

Concernant les effets sur la composition corporelle à l'abattage, certains travaux (Henry et Perez 1986, Noblet *et al* 1987) ont montré une

L'incorporation d'acides aminés industriels à la ration pourrait permettre de baisser jusqu'à 12% la teneur de l'aliment en protéines.

Figure 6. Influence du poids vif et du type d'animal sur le besoins en lysine, d'après Dourmad *et al* (1993).



utilisées pour couvrir ces besoins sont essentiellement d'origine végétale (céréales, tourteaux et sous-produits) et présentent un profil de composition en acides aminés différent de celui des besoins. En pratique, la combinaison de différentes matières premières permet de satisfaire au moindre coût les contraintes minimales de teneur pour les différents acides aminés indispensables. Cependant, ceci s'accompagne d'un apport excessif de certains acides aminés et plus généralement de protéines. Ainsi, pour le porc en croissance, un régime à base de céréales (1/3 Maïs - 1/3 Blé - 1/3 Orge) doit contenir au moins 20% de tourteau de soja pour assurer la couverture des besoins pour tous les acides aminés (Henry

Tableau 5. Influence du génotype, du type sexuel (F : femelles, MC : mâles castrés) et de la teneur en protéines du régime (régimes H, M et B) sur l'utilisation de l'azote par le porc à l'engrais entre 30 et 103 kg de poids vif (d'après Quiniou et al 1994).

Lot	Protéines (%)	Large White		Piétrain x Large White		Stat ¹⁾
		F	MC	F	MC	
N ingéré (kg/porc)						
Rég. H	17,8	5,79	5,82	5,40	5,64	
Rég. M	15,5	4,92	5,16	4,73	4,79	
Rég. B	13,6	4,32	4,56	4,03	4,38	R*** G*** S***
N retenu (kg/porc)						
Rég. H	17,8	1,72	1,74	1,83	1,81	
Rég. M	15,5	1,81	1,74	1,80	1,84	
Rég. B	13,6	1,75	1,70	1,84	1,83	G***
N excrété (kg/porc)						
Rég. H	17,8	4,07	4,08	3,57	3,83	
Rég. M	15,5	3,11	3,42	2,93	2,95	
Rég. B	13,6	2,58	2,86	2,19	2,55	R*** G*** S***

¹⁾ Signification statistique : G effet du type génétique, R effet du régime, S effet du sexe.

*** : significatif à P<0,001.

augmentation de la teneur en gras de la carcasse lorsque le taux protéique du régime diminue. Cependant, les régimes étant formulés en énergie digestible dans la plupart de ces études, la teneur en énergie nette était alors plus faible pour les régimes riches en protéines, en raison du catabolisme des protéines excédentaires, accompagné de pertes énergétiques urinaires et d'une production d'extra-chaaleur plus importantes (Noblet *et al* 1987). Une réduction de l'apport de protéines permet donc une "épargne" d'énergie et peut, dans certaines conditions et selon le type de porc, entraîner un dépôt de lipides plus important. La formulation de régimes à faible teneur en protéines, rééquilibrés en acides aminés, doit donc se faire sur la base de l'énergie nette (Noblet 1993), afin d'éviter les effets négatifs éventuels sur la composition corporelle.

3.3 / Une meilleure connaissance de la digestibilité des acides aminés

Jusqu'à présent les besoins en acides aminés des porcs ont généralement été exprimés en acides aminés totaux, alors que leur disponibilité varie en fonction des sources botaniques ou des traitements technologiques appliqués à chaque matière première. Cette connaissance insuffisante des matières premières a conduit à prendre des marges de sécurité en augmentant artificiellement les besoins des animaux, ce qui s'est en général accompagné d'une augmentation de la teneur en protéines du régime et donc des rejets azotés.

Les travaux en cours dans différents organismes français (INRA, ITCF, Rhône Poulenc) ou étrangers (ILOB-IVVO, Pays-Bas) devraient rapidement permettre de raisonner les besoins

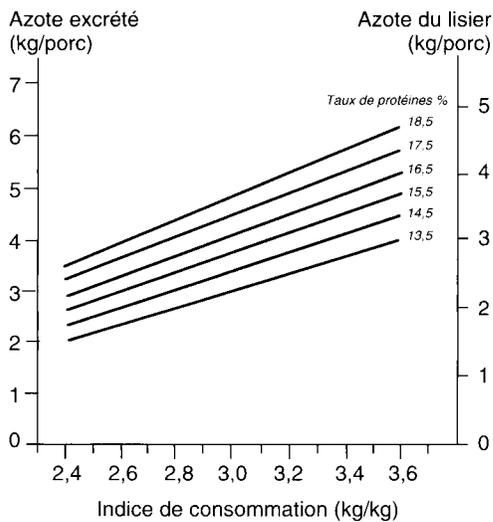
en acides aminés disponibles ou digestibles au niveau iléal. Ceci est particulièrement important lorsque l'on formule des régimes à faible teneur en protéines, comme c'est le cas quand on cherche à réduire les rejets azotés. En effet, dans ces conditions, le risque d'apparition d'un acide aminé limitant secondaire est plus important, pouvant conduire à une détérioration des performances. Pour le moment, il est cependant difficile de quantifier les conséquences directes sur les rejets azotés.

Néanmoins, l'amélioration de la digestibilité des acides aminés ou plus généralement des protéines du régime est une voie de progrès sans doute mineure par rapport à celles présentées auparavant, dans la mesure où la quantité d'azote fécal est beaucoup plus faible que la quantité d'azote urinaire et surtout que les possibilités pratiques d'amélioration de la digestibilité, par rapport à la situation actuelle, sont faibles.

4 / Diminuer les rejets en améliorant la productivité des animaux

Chez le porc en croissance, la quantité d'azote rejetée pendant la période d'engraissement varie de façon importante avec les performances, en particulier avec l'indice de consommation. Ainsi, l'augmentation de ce dernier de 0,1 point au dessus d'une valeur moyenne de 3,1 entraîne un accroissement relatif des rejets azotés d'environ 3%. D'une façon plus particulière, la diminution de l'indice de consommation, lorsqu'elle résulte d'un accroissement des dépôts de tissus maigres, comme cela est généralement le cas, conduit à une réduction sup-

Figure 7. Influence du taux moyen de protéines de l'aliment et de l'indice de consommation sur le rejet azoté (kg/porc) en période de croissance-finition (25-100 kg), d'après Guillou et al 1993.

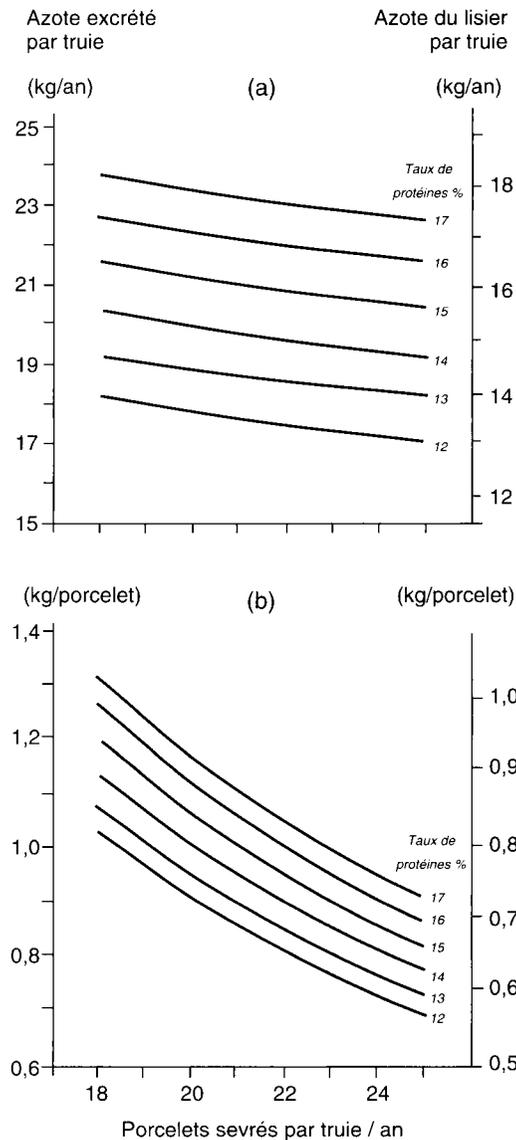


plémentaire du rejet d'azote. Dans ce cas, le rendement global d'utilisation de l'azote est amélioré.

De façon plus générale, on peut évaluer, chez le porc en croissance, l'influence de l'indice de consommation (IC) et du taux moyen de protéines de l'aliment (pondéré en fonction des quantités distribuées à chaque stade) sur l'excrétion azotée ou la quantité d'azote dans le lisier (figure 7). On constate ainsi que l'excrétion azotée varie largement en fonction de ces paramètres, de 3 kg par porc pour un aliment à 15 % de MAT et 2,7 d'IC à plus de 5 kg/porc pour un aliment à 17 % de MAT et 3,3 d'IC, ce qui correspond respectivement à 2,3 et 3,8 kg d'azote dans le lisier. Les résultats des simulations montrent également que, pour une stratégie alimentaire et un IC donnés, le pourcentage de muscle a une influence limitée sur l'excrétion azotée (-0,014 kg de diminution par point de muscle en plus). Par contre, pour un IC donné, le gain moyen journalier n'affecte pas le rejet azoté par porc produit, puisque la rétention azotée totale en croissance dépend du gain de poids total et non du gain journalier.

De même, chez la truie reproductrice, on peut calculer l'influence de la productivité numérique sur l'excrétion azotée, pour différentes stratégies d'alimentation pendant la gestation (figure 8a). La diminution de la teneur en protéines du régime de gestation, de 16 à 12 %, permet de réduire l'excrétion azotée de 4,5 kg par truie et par an, soit de 20 %, alors que la productivité numérique a peu d'effet : -1 kg entre 18 et 24 porcelets sevrés par truie/an. Cependant, si l'on rapporte le rejet de la truie au nombre de porcelets sevrés (figure 8b), l'effet de la productivité numérique devient très important et l'excrétion azotée varie entre 1,3 kg/porcelet, pour une productivité faible et une teneur en protéines élevée, à moins de 0,7 kg par porcelet pour une productivité élevée et une teneur en protéines correspondant au besoin.

Figure 8. Influence du taux de protéines du régime de gestation et des performances de reproduction sur les rejets azotés par truie productive (a) ou par porcelet sevré (b), d'après Guillou et al 1993.



En définitive, l'amélioration de la productivité du porc, que ce soit par l'abaissement de l'indice de consommation associé à une augmentation de la production de viande maigre, ou par l'augmentation de la productivité numérique des truies, contribue à diminuer l'importance des rejets d'azote par porc produit. L'amélioration génétique des animaux offre donc des perspectives intéressantes de réduction des rejets. Ceci peut être illustré par la comparaison de différents types génétiques (Quiniou *et al* 1994, tableau 5). En moyenne, le rejet azoté est inférieur (-11%) chez les animaux croisés Piétrain x Large White comparativement aux Large White, de même chez les femelles (-6%) comparativement aux mâles castrés. La stimulation de la croissance offre également des perspectives très intéressantes d'amélioration des performances. Ainsi, selon Quiniou *et al* (1993), un traitement à l'hormone de crois-

Un indice de consommation plus faible pour le porc et une productivité numérique des truies plus élevée s'accompagnent de rejets azotés moindres

sance en période de finition entraîne une augmentation de la rétention protéique des animaux et une réduction des rejets azotés de 35%.

L'amélioration des conditions d'élevage s'accompagne également d'une augmentation des performances. Ainsi, chez le porc à l'engrais, le coût alimentaire est étroitement lié à la température du bâtiment (Le Dividich et Rinaldo 1989). On peut calculer, à partir des données de ces auteurs, que pour chaque degré supplémentaire, entre 20 et 25°C, la quantité d'aliment nécessaire diminue d'environ 1,7 kg par porc. Ceci correspond à une réduction de 3,5% des rejets azotés entre 20 et 25°C. Pour des températures plus faibles, cet effet serait encore plus important : -6% entre 20 et 15°C. L'amélioration de l'état sanitaire des animaux s'accompagne également d'une amélioration des performances et donc d'une réduction des rejets azotés, bien qu'il soit plus difficile de quantifier cet effet.

Conclusions

Les résultats présentés ici confirment la possibilité de réduire les rejets azotés des porcs en modifiant la stratégie d'alimentation. A cet effet, un aliment adapté à chaque stade physiologique et un meilleur ajustement de l'équilibre en acides aminés constituent deux approches complémentaires et efficaces pour réduire l'excrétion azotée des animaux. On peut également souligner l'effet intéressant de l'amélioration du niveau des performances sur la limitation des rejets. En période de reproduction, le paramètre le plus important est le nombre de porcelets produits par truie et par an, alors que chez le porc en croissance l'excrétion azotée est principalement affectée par l'indice de consommation, le gain de poids moyen journalier n'ayant pas d'effet important.

La réduction des rejets azotés par l'alimentation nécessite cependant de prendre certaines précautions lors de la formulation des régimes. En particulier, pour calculer les régimes, il est souhaitable d'utiliser les acides aminés digestibles et le système énergie nette. Par ailleurs, la prise en compte de l'évolution des besoins en fonction du stade de croissance nécessite une bonne connaissance du potentiel des animaux en fonction des conditions d'élevage, en particulier pendant la période de finition.

Remerciements

Les auteurs remercient la Commission des Communautés Européennes (DG VI, contrat CT91-0112) pour le soutien financier qu'elle a apporté à plusieurs des études rapportées dans cet article.

Références bibliographiques

Black J.L., Campbell R.G., Williams I.H., James K.J., Davies G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. *Research and Development in Agriculture*, 3, 121-145.

Dagorn J., Badouard B., Salaün Y., 1990. Les performances des élevages. *Techni-Porc*, 13, 17-29.

Ourmad J.Y., Guillou D., 1991. Maîtrise de la charge polluante des effluents des élevages porcins : influence du bâtiment, de l'alimentation et des performances. AFMVP - SIMAVIP, Paris, 35-46.

Ourmad J.Y., Henry Y., 1993. Protein nutrition and nitrogen pollution in pigs. 2nd Belgian Days on Pigs and Poultry. Nitrogen and Phosphorus utilization. Royal Flemish Society of Engineers, 17-19 February, Brugge (Belgium), 1-18.

Ourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., 1991. Contribution à l'étude des besoins en acides aminés de la truie en lactation. *Journées Rech. Porcine en France*, 23, 61-68.

Ourmad J.Y., Guillou D., Noblet J., 1992. Development of a calculation model for predicting the amount of N excreted by the pig : effect of feeding, physiological stage and performance. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 95-107.

Ourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., 1994. La reconstitution des réserves corporelles chez la truie multipare en gestation. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 277-284.

Etienne M., Noblet J., Ourmad J.Y., Fortune H., 1989. Etude du besoin en lysine des truies en lactation. *Journées Rech. Porcine en France*, 21, 101-108.

Fleming G.A., 1991. The production of animal wastes. *European Colloquium on Scientific Basis for a safe and Efficient Management of Livestock Farming*, Mantova, Italy, 53pp.

Gasser J.K.R., 1980. *Effluents from livestock*. Applied Science Publishers LTD, London, 712 pp.

Gatel F., Grosjean F., 1992. Effect of protein content of the diet on nitrogen excretion by pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 109-120.

Guillou D., Ourmad J.Y., Noblet J., 1993. Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 307-314.

Henry Y., 1988. Signification de la protéine équilibrée pour le porc : intérêt et limites. *INRA Prod. Anim.*, 1, 65-74.

Henry Y., 1991. Répercussions des techniques actuelles de production animale sur l'environnement. *Bull. Vét. de France*, 64 (Suppl. au n°4), 119-139.

Henry Y., 1993. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *INRA Prod. Anim.*, 6, 199-212.

Henry Y., Ourmad J.Y., 1993. Feeding strategy for minimizing nitrogen output in pigs. *International Congress on "Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences"*. Pudoc Wageningen (The Netherlands), 137-150.

- Henry Y., Perez J.M., 1986. Effets de la supplémentation en lysine, associée à une réduction du taux de protéines, dans des régimes à base de maïs ou de blé, sur les performances de croissance du porc. *Journées Rech. Porcine en France.*, 18, 57-66.
- Hoeksma P., Verdoes N., Oosthoek J., Voermans, J.A.M., 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 121-132.
- Kaji Y., Furuya S., 1987. Lysine requirement of growing pigs estimated under practical feeding conditions. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 58, 574-582.
- Karege C., 1991. Influence de l'âge et du sexe sur l'utilisation de l'énergie et la composition corporelle chez le porc en croissance. Thèse, Univ. Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc.
- Kies A., Augier A., Venuat M., Grimaldi J.L., 1992. Diminution des taux protéiques : influence sur la quantité d'azote excrété et les performances zootechniques du porc charcutier. *Journées Rech. Porcine en France*, 24, 219-226.
- Latimier P., Dourmad J.Y., Corlouer C., 1993. Influence sur les performances et les rejets azotés du porc charcutier de trois conduites alimentaires différenciées par l'apport de protéines. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 295-300.
- Le Dividich J., Rinaldo D., 1989. Effets de l'environnement thermique sur les performances du porc en croissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 21, 219-230.
- Lenis, N.P., 1987. Contribution of pig to N-pollution and possible solutions via feeding measures. in: Eurolysine/Gallenica feed industry symposium, Billund, Denmark, May 6th 1987, 8 pp.
- Moughan, P.J., 1989. Simulation of the daily partitioning of lysine in the 50 kg liveweight pig - A factorial approach to estimating amino acid requirements for growth and maintenance. *Research and development in Agriculture*, 6, 7-14.
- Noblet J., 1993. Les systèmes d'appréciation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. *INRA Prod. Anim.*, 6, 105-115.
- Noblet J., Henry Y., Dubois S., 1987. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 65, 717-726.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., 1991. Influence of growth potential on energy requirements for maintenance in growing pigs. In : C.Wenk (Ed.) : *Energy Metabolism of Farm Animals*. EAAP Pub.N° 58. ETH-Zürich (Switzerland), 107-110.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 267-276.
- Pessara H., Oldenburg J., Brenner K.V., 1992. Lässt sich die Ammoniakemission senken. *Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion*, 5, 144-146.
- Quiniou N., Noblet J., Dourmad J.Y., 1993. Influence de l'administration de somatotropine porcine et d'une réduction du taux protéique du régime sur les rejets d'azote et de phosphore chez le porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 287-294.
- Quiniou N., Dourmad J.Y., Henry Y., Bourdon D., Guillou D., 1994. Influence du potentiel de croissance et du taux protéique du régime sur les performances et les rejets azotés des porcs en croissance-finition, alimentés à volonté. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 287-294.
- Schutte J.B., Bosch M.W., 1990. Nutritional possibilities to reduce nitrogen and phosphorus excretion in pigs and poultry. In: "Manure and Environment", Misset agri-seminar, VIV-Europe, November 14th 1990, Utrecht, The Netherlands.
- Steffens G., Benedetti, A., 1991. Utilization of animal wastes: Nitrogen. *European Colloquium on Scientific Basis for a Safe and Efficient Management of Livestock Farming*, Mantova, Italy, 57 pp.
- Susenbeth A., 1993. A model to describe the effect of nutrition on growth, body composition and nitrogen excretion in pigs. *International Congress on "Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences"*. Pudoc Wageningen (The Netherlands), 90-95.
- Tamminga S., Verstegen M.W., 1991. Protein nutrition and animal production : consequences for environment and some possible recommendations. In : *Proc 6th Internat. Symp. Protein Metabolism and nutrition*. EAAP Publication No 59. Nat. Inst. Anim. Sci., Foulum, Denmark.
- Wang T.C., Fuller M.F., 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs 1. Experiments by amino acid deletion. *Brit. J. Nutr.*, 62, 77-89.
- Whittemore, C.T. 1983. Development of recommended energy and protein allowances for growing pigs. *Agricultural Systems*, 11, 159-186.

Summary

Effect of feeding and performance on nitrogen excretion in pigs.

In highly intensive pig production areas, manure disposal is a major problem especially for nitrogen, in relation to water pollution by nitrates and gaseous ammonia emissions. Nitrogen excretion, in urine and faeces, corresponds to the fraction of dietary nitrogen that is not retained by the animal. When we consider the growing-finishing pigs, 15 to 20% of nitrogen intake is excreted in the faeces and 40 to 50% in the urine, corresponding to a total excretion of 60 to 70% of intake. In practical conditions, we can predict, by modelling, nitrogen excretion by pigs from protein intake and performance. The results from literature show that it is possible to reduce nitrogen output preventively, through modifications in the feeding strategy or improve-

ment of performance level. A better adaptation of diets to each physiological or growing stage, and the improvement of protein quality are two complementary approaches for reducing N excretion. With these cumulative beneficial effects, it may be expected that N output in the slurry and in the atmosphere can be reduced by 15 to 25%, through better feeding management, without any important increase in feed costs. The positive effect of the improvement of performance level has also to be noticed. In breeding sows the most important parameter is the number of piglets produced per sow and per year, whereas for fattening pigs feed conversion ratio is of primary importance.

DOURMAD J.-Y., HENRY Y., 1994. Influence de l'alimentation et des performances sur les rejets azotés des porcs. INRA Prod. Anim., 7(4), 263-274.