Possibilités de réduction des rejets azotés en aviculture

B. Leclercq, Sophie Tesseraud

▶ **To cite this version:**

B. Leclercq, Sophie Tesseraud. Possibilités de réduction des rejets azotés en aviculture. Productions Animales, 1993, 6 (3), pp.225-236. hal-02715972

HAL Id: hal-02715972
https://hal.inrae.fr/hal-02715972

Submitted on 1 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRA Prod. Anim.,
1993, 6 (3), 225 - 236.

B. LECLERCQ et S.TESSERAUD

INRA Station de Recherches Avicoles
37380 Nouzilly

Possibilités de réduction des rejets azotés en aviculture

L'aviculture française consomme en moyenne chaque année 1,4 millions de tonnes de protéines alimentaires qui sont transformées en protéines animales avec un rendement de l'ordre de 45%.
Ce sont donc près de 125 000 tonnes d'azote qui sont rejetées dans les fientes issues des élevages avicoles. Ces "pertes" peuvent être réduites soit par une meilleure formulation des aliments, en particulier en recourant aux acides aminés industriels, soit en utilisant des génotypes capables de transformer les protéines alimentaires avec de meilleurs rendements.

Résumé

Il est possible de réduire les pertes d'azote, sources potentielles de pollution, en élevage avicole, en ayant recours soit à un usage plus développé des acides aminés industriels soit à des génotypes de poulets utilisant plus efficacement les acides aminés alimentaires. La première possibilité se heurte encore à quelques difficultés qui relèvent soit d'une mauvaise connaissance des besoins exacts en acides aminés limitants autres que la méthionine et la lysine, soit d'une légère toxicité des concentrations élevées des acides aminés libres des aliments. On peut, pour le moment, espérer une réduction de 10% des rejets d'azote par cette technique sans pertes de performances. Une supplémentation plus importante, si elle ne réduisait pas la vitesse de croissance et l'efficacité alimentaire, pourrait conduire à une baisse de 35% des rejets d'azote.

L'utilisation de génotypes transformant plus efficacement les acides aminés alimentaires en protéines corporelles pourrait permettre une réduction de 15% des rejets d'azote. Ces génotypes présentent probablement des changements de besoins relatifs en acides aminés (protéine idéale).

Globalement ces deux approches laissent espérer une réduction maximum de 50% des pertes d'azote en élevage avicole intensif. Dès à présent elles peuvent contribuer à les diminuer de 25%.

L'aviculture a pour objectif majeur de transformer des protéines végétales (céréales, graines de légumineuses...) ou des sous-produits animaux (farines de poisson, farines de viandes) en viandes ou en oeufs destinés à la consommation humaine. L'attrait des viandes de volailles conduit la France à transformer ainsi chaque année des quantités croissantes de protéines.

Le rendement de cette transformation est en général inférieur à 50%, surtout pour la production de l'oeuf (de l'ordre de 30%), mais s'accompagne, le plus souvent, d'une nette amélioration de l'équilibre des acides aminés en vue des besoins de l'homme ; c'est le cas tout spécialement de l'oeuf considéré comme la source de protéines la mieux équilibrée. Ce rendement intègre les protéines des plumes (25% des protéines synthétisées) qui ne sont pas consommées, celles des viscères et du squelette qui constituent aussi des pertes. Si bien que le rendement réel en protéines consommables est plutôt proche de 27%.

Si on se limite aux seules pertes de l'élevage, c'est donc environ 50% de l'azote protéique ingéré qui est rejeté par les animaux sous forme de protéines non digérées et, surtout, de déchets d'excrétion (acide urique, ammonium, urée).

Ces déchets ne constituent pas une perte totale. En effet l'utilisation en agriculture des lisiers et litières permet de récupérer une part importante des éléments fertilisants (N,P,K, oligo-éléments). Néanmoins, pour de

simples raisons économiques et de facilité de gestion des déchets d'élevage, il est légitime de rechercher les possibilités techniques de réduire les pertes azotées. C'est ce que présente cet article en s'intéressant particulièrement à deux voies de développement récent : 1) l'usage d'acides aminés industriels dont le nombre augmente puisque, depuis quelques années le tryptophane et la thréonine sont produits industriellement et viennent s'ajouter à la méthionine et la lysine dans la panoplie du formulateur, 2) les génotypes aviaires capables de transformer les protéines alimentaires en protéines corporelles avec une meilleure efficacité.

Nous laissons volontairement de côté d'autres possibilités très classiques, bien qu'insuffisamment exploitées. Citons d'abord une meilleure méthodologie d'analyse des matières premières pour leur contenu en acides aminés ; il existe en effet des variabilités analytiques inter-laboratoires qui sont parfois bien supérieures aux niveaux de supplémentation espérés pour les acides aminés industriels. Une connaissance plus précise de la digestibilité des acides aminés permettrait également de se rapprocher de la vraie valeur nutritionnelle des diverses sources de protéines. Bien des progrès ont été réalisés ; mais on est loin d'avoir atteint un niveau de connaissances équivalent à celui qui concerne, par exemple, les valeurs énergétiques. Enfin une estimation précise des besoins des diverses espèces, selon l'âge (alimentation par phase), le sexe et surtout les génotypes sans cesse modifiés, demeure une source de progrès possibles.

1 / L'emploi des acides aminés industriels

Depuis plus de 40 ans l'industrie de l'alimentation animale dispose de la méthionine de synthèse (formes D et L) et de son hydroxy-analogue (MHA). La supplémentation des aliments destinés aux volailles est généralisée depuis longtemps. Il y a une vingtaine d'années est apparue la lysine issue de synthèse microbienne. Son usage s'est répandu plus difficilement en aviculture du fait du prix très fluctuant et souvent très bas de son concurrent, le tourteau de soja. Cependant elle est de plus en plus incorporée. Récemment sont apparus sur le marché le tryptophane et la thréonine, surtout utilisés en alimentation porcine. D'autres acides aminés pourraient encore être produits ; cependant la première question est de savoir lesquels ont la probabilité la plus forte de devenir limitants, compte tenu des matières premières employées et des besoins des animaux.

1.1 / La protéine idéale

Le problème des rapports optimum entre acides aminés est à la fois ancien et toujours mal résolu. Il est connu sous le terme de "protéine idéale", c'est-à-dire celle qui assure l'apport en chacun des acides aminés, indispensables (AAI) ou non-indispensables (AANI), qui correspond exactement au besoin des animaux. Le tableau 1 illustre, d'un point de vue purement théorique, ce qu'on pourrait attendre d'une supplémentation en acides aminés libres en vue d'adapter exactement les apports aux besoins. Cette simulation repose sur plusieurs hypothèses rapportées dans ce tableau et suppose que tous les acides aminés soient produits industriellement ; elle se limite au modèle maïs + tourteau de soja. On en déduit l'ordre dans lequel les acides aminés doivent être limitants, si on retient l'équilibre proposé par Boorman et Burgess (1985). Nous verrons plus loin que cet équilibre diffère selon les auteurs et peut évoluer avec les génotypes. En disposant de tous les acides aminés indispensables il serait théoriquement possible d'abaisser la teneur en protéines brutes d'un aliment de démarrage pour poussin de 22 à 16%. Parallèlement le rendement d'utilisation des protéines pourrait passer de 52,6% à 72,5%. Les pertes (fécales + urinaires) évolueraient en sens inverse, soit une division par 1,7 de l'azote total excrété. C'est donc le progrès maximum que l'on peut attendre des acides aminés industriels. Toutefois bien des résultats expérimentaux présentés ci-après montrent qu'il est difficile de réaliser ce schéma théorique.

1.2 / L'équilibre entre acides aminés

Dans le tableau 2 nous avons rassemblé quelques recommandations d'équilibres selon les auteurs ou les tables entre acides aminés indispensables, en prenant comme base 1 la lysine. Il existe une certaine cohérence entre tables pour le tryptophane, l'isoleucine et les acides aminés aromatiques. En revanche on peut noter de grosses discordances pour les acides aminés soufrés, la thréonine, la valine et l'histidine ; les autres acides aminés sont en situation intermédiaire. Selon la hiérarchie retenue, l'ordre de classement de l'urgence de la supplémentation peut changer. C'est surtout le cas de la thréonine, de l'arginine, de l'isoleucine et de la valine, candidats à la supplémentation après la méthionine et la lysine. En fait il semble que plusieurs acides aminés deviennent presque en même temps limitants après la méthionine et la lysine ; ce qui complique en pratique la solution par la supplémentation.

1.3 / Conclusions des principales expériences de supplémentation

La supplémentation des aliments avec des acides aminés industriels conduit à des expérimentations coûteuses à cause du prix élevé des acides aminés qui ne sont pas encore produits industriellement. Ainsi les expérimentateurs se limitent très souvent à la période d'âge 7-21 jours, pendant laquelle les consommations sont faibles. L'extrapolation à des âges plus avancés (finition) repose sur l'hypothèse que les besoins des divers acides aminés évoluent dans les mêmes proportions.

Les essais réalisés avant 1980 et basés sur l'utilisation de la méthionine et de la lysine seuls (Bornstein et Lipstein 1975 ; Waldroup *et al* 1976) concluent à la possibilité de réduire les teneurs en protéines d'environ 2 points

Protéines brutes (%)		16	17	18	19	20	21	22
Formulation								
Maïs		82,2	76,9	72,0	67,8	64,0	60,6	57,3
T. soja		9,4	15,0	20,0	24,4	28,0	31,1	34,2
Méthionine		0,440	0,387	0,339	0,300	0,267	0,240	0,212
Lysine-HCl		0,796	0,613	0,447	0,312	0,194	0,095	-
Thréonine		0,355	0,274	0,200	0,140	0,088	0,045	-
Tryptophane		0,102	0,073	0,046	0,024	0,005	-	-
Isoleucine		0,336	0,235	0,144	0,070	0,005	-	-
Arginine		0,555	0,384	0,230	0,105	-	-	-
Valine		0,301	0,199	0,108	0,034	-	-	-
Glycine		0,435	0,242	0,067	-	-	-	-
Aromatiques		0,359	0,192	0,041	-	-	-	-
Histidine		0,107	0,049	-	-	-	-	-
Leucine		0,109	-	-	-	-	-	-
Caractéristiques (acides aminés digestibles)								
	Besoin*							
A.A. soufrés	0,850	0,850	0,850	0,850	0,850	0,850	0,850	0,850
Lysine	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,102
Thréonine	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759	0,760
Tryptophane	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198	0,209	0,224
Isoleucine	0,792	0,792	0,792	0,792	0,792	0,792	0,840	0,893
Arginine	1,221	1,221	1,221	1,221	1,221	1,225	1,317	1,407
Valine	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,900	0,953	1,006
Glycine + sérine	1,441	1,441	1,441	1,441	1,514	1,637	1,739	1,840
Aromatiques	1,430	1,430	1,430	1,430	1,510	1,616	1,703	1,790
Histidine	0,440	0,440	0,440	0,443	0,485	0,522	0,552	0,582
Leucine	1,375	1,375	1,399	1,518	1,613	1,696	1,763	1,829
AANI		4,640	5,440	6,159	6,739	7,244	7,663	8,077
AAI		10,28	10,50	10,62	10,91	11,30	11,80	12,28
Bilan azoté par kg de poids vif								
N ingéré (g)		46,1	49,0	51,8	54,7	57,6	60,5	63,4
Digestibilité (%)		90,8	89,8	89,0	88,6	88,3	88,2	88,0
N fécal (g)		4,23	5,00	5,70	6,24	6,74	7,14	7,61
N urinaire (g)		8,40	10,63	12,73	15,09	17,49	19,99	22,42
Bilan N (%)		72,5	68,1	64,4	61,0	57,9	55,2	52,6

Tableau 1.
Approche théorique. Formulation d'un aliment démarrage pour poussin (%)

Les chiffres en rouge correspondent aux acides aminés en excès.

Hypothèses :
- besoin faible en acides aminés non-indispensables
- équilibre en acides aminés (besoin) selon Boorman et Burgess (1985)
- indice de consommation de 1,8 non modifié par la teneur en protéine de l'aliment
- 20% de protéines dans le gain de poids
- efficacité métabolique maximum
- digestibilité de 100% des acides aminés libres

* selon Boorman et Burgess (1985).

sans modification de la croissance. Toutefois lorsqu'on examine en détail la publication de Bornstein et Lipstein (1975), par exemple, on remarque qu'au cours des 3 essais (protocoles pratiquement identiques) il demeure un léger effet de la teneur en protéines sur la croissance, et surtout l'efficacité alimentaire, malgré la supplémentation en méthionine et lysine. Comme Bornstein et Lipstein, Waldroup *et al* (1976) concluent également que la lysine et la méthionine permettent d'abaisser les apports de protéines sans modifier cette fois ni la croissance ni l'indice de consommation. Le tableau 3 contient les résultats de l'un des essais. A ces deux références optimistes il faut ajouter une référence récente (Schutte 1987) suggérant qu'il est tout à fait possible d'obtenir les

	Boorman	Scott	NRC	RPAN
	1985	1982	1984	1987
Age	7-14 j	14-28 j	21-42 j	
Lysine	1	1	1	1
AAs	0,75	0,69	0,72	0,79
Tryptophane	0,18	0,17	0,18	0,20
Thréonine	0,69	0,62	0,74	0,68
Leucine	1,25	1,16	1,18	1,38
Isoleucine	0,72	0,78	0,70	0,74
Valine	0,79	0,62	0,72	0,86
Histidine	0,40	0,38	0,30	0,42
Arginine	1,11	0,97	1,20	1,03
Aromatiques	1,30	1,25	1,17	1,31
Glycine + Sérine	1,31			1,15

Tableau 2.
Normes en acides aminés (Equilibre par rapport à la Lysine totale).

Tableau 3. *Effets de la supplémentation en lysine et méthionine de régimes à base de maïs et de tourteau de soja (Waldroup et al 1976).*

Composition des régimes de démarrage (0-21 j) (%)	Témoin	Supplémenté
Maïs	56,26	68,16
Tourteau de soja	35,92	26,14
Huile de soja	4,15	2,17
Minéraux et vitamines	3,55	3,59
DL-méthionine	0,12	0,23
L-lysine - HCl	-	0,25
Energie (kCal/kg)	3080	3080
Protéines brutes (%)	22,7	18,9
Lysine (%)	1,23	1,23
Méthionine + Cystine (%)	0,80	0,80
Régimes de finition (21-56 jours)		
Maïs	66,11	68,78
Tourteau de soja	25,44	23,67
Huile de maïs	2,12	1,46
Farine de luzerne	2,81	2,48
Minéraux et vitamines	3,42	3,44
DL-méthionine (%)	0,10	0,12
L-lysine - HCl	-	0,06
Energie (kCal/kg)	3080	3080
Protéines brutes (%)	18,9	18,1
Lysine (%)	0,99	0,99
Méthionine + Cystine (%)	0,72	0,72
Performances		
Gain de poids 7 à 21 jours (g)	218	222
Indice de consommation 7 à 21 jours	1,650	1,689
Gain de poids de 0 à 56 jours (g)	1429	1463
Indice de consommation 0 à 56 jours	2,353	2,299

Tableau 4. *Utilisation des acides aminés de synthèse chez le poulet de chair (Schutte 1987).*

Régimes	Gain de poids (g) 7-28 j	Indice de consommation 7-28 j
20% protéines brutes*	810	1,61
16% protéines brutes**	666	1,92
16% protéines brutes + mélange d'acides aminés indispensables et non-indispensables	813	1,59

* maïs + tourteau de soja ; teneur en lysine = 1,25%
Teneur en acides aminés soufrés = 0,86%

** maïs + tourteau de soja + lysine + méthionine
Teneurs en lysine et acides aminés soufrés identiques au précédent.

mêmes performances avec un régime titrant 16% de protéines supplémentées par des acides aminés indispensables et non-indispensables qu'avec le régime-témoin titrant 20% de protéines (tableau 4). Cependant peu de détails sont disponibles dans cette brève publication. On peut seulement en conclure que : 1) seules, la lysine et la méthionine ne peuvent compenser les déficiences d'un régime contenant 16% de protéines, 2) l'addition de tous les acides aminés pour atteindre le niveau d'un régime à 20% de protéines est parfaitement efficace. Ce dernier point est contesté, comme nous le verrons plus loin.

Parr et Summers (1991), étudiant la période 7-21 jours, procèdent à une réduction progressive des teneurs en protéines des aliments tout en maintenant les AAI à leur niveau minimum recommandé par le NRC (1984), glycine incluse. Les teneurs en protéines passent de 23% (témoin) à 20 ou 17%. Les auteurs concluent qu'il est possible d'obtenir d'excellentes performances par supplémentation. Ils signalent la nécessité de considérer la glycine.

Beaucoup plus nombreux sont les essais négatifs, surtout ceux réalisés récemment. Les travaux de Edmonds *et al* (1985) conduisent aux conclusions suivantes (tableaux 5 et 6) : 1) quand on abaisse la teneur en protéines d'un régime à base de maïs et de tourteau de soja (titrant 3150 kcal EM/kg) à 16%, on observe que la méthionine est le premier limitant, puis la lysine et l'arginine, ensuite la valine et la thréonine, 2) l'addition d'acide glutamique à un régime à 16% de protéines, rééquilibré en acides aminés indispensables, exerce un effet bénéfique, mais ne permet pas d'atteindre le niveau d'un régime témoin à 24% de protéines, 3) le besoin en arginine est plus élevé que prévu.

Des conclusions assez semblables sont tirées par Fancher et Jensen (1989a) de leurs expériences sur des poulets de chair femelles. Lorsqu'on abaisse la teneur en protéines entre 21 et 42 jours d'âge tout en maintenant le niveau des acides aminés indispensables par des supplémentations, on ne peut conserver le niveau de croissance du lot recevant le régime le plus riche. De plus, l'adiposité des animaux et leur indice de consommation augmentent parallèlement aux baisses de croissance. Les principaux résultats sont rassemblés dans le tableau 7. Par modélisation curvilinéaire les auteurs concluent que le besoin pour la croissance doit se situer à 19,7% de protéines pour la croissance et 21% pour l'indice de consommation, même en supplémentant par les acides animés indispensables. Dans une seconde expérience les mêmes auteurs écartent l'hypothèse d'un besoin en acide glutamique. On ne peut exclure de leurs expériences des déficiences partielles en certains acides aminés dont les besoins ont peut-être été sous-estimés ; ainsi valine et glycine n'ont pas été ajoutées en quantités suffisantes dans les 3 régimes les moins riches en protéines, si on se réfère aux recommandations de Boorman et Burgess (1985).

Un essai a été réalisé par les mêmes auteurs avec des poulets mâles de type commercial (Fancher et Jensen 1989b). L'abaissement de la teneur en protéines de 21,9% à 16,2%, accompagné d'un maintien des apports en AAI, réduit légèrement la croissance, dété-

riore un peu l'indice de consommation, mais surtout augmente l'adiposité (tableau 8).

Les principales conclusions des auteurs sont que : 1) le potassium ne semble pas en cause, 2) il n'y a pas d'effet spécifique de l'acide glutamique si ce n'est sur l'engraissement, 3) la valine serait nécessaire à un niveau plus élevé que ce qui est souvent recommandé, 4) le niveau de glycine serait peut-être à surveiller.

Une publication issue l'année suivante du même laboratoire (Pinchasov *et al* 1990) aboutit à des conclusions, elles encore, pessimistes (tableau 9). L'abaissement de la teneur en protéines de 23% à 20% et 17%, avec maintien des concentrations en acides aminés indispensables (lysine, méthionine, arginine, thréonine, tryptophane, valine et isoleucine) grâce à la supplémentation sur la base des recommandations NRC (1984), se traduit toujours par une baisse de la vitesse de croissance et une dégradation de l'efficacité alimentaire. Dans un autre essai les auteurs montrent que la substitution pour partie des acides aminés par de l'acide glutamique ne fait qu'aggraver les effets de la supplémentation. Le respect des apports de potassium, apporté normalement par le tourteau de soja, ne présente aucun intérêt. Les auteurs émettent l'hypothèse (qui sera discutée plus loin) d'une mauvaise efficacité des acides animés libres alimentaires lorsqu'ils dépassent une certaine concentration dans les aliments.

De même, Holsheimer et Janssen (1991), dont quelques résultats sont présentés dans le tableau 10, ne parviennent pas par supplémentation de régimes appauvris en protéines à retrouver les performances de croissance et surtout d'efficacité alimentaire du régime témoin.

Plus récemment encore, Han *et al* (1992) ont étudié la supplémentation à appliquer à un régime renfermant 19% de protéines et 3200 kcal/kg pour qu'il assure les performances équivalentes à celles d'un régime titrant 23% de protéines (3200 kcal/kg), les matières premières étant le maïs et le tourteau de soja. La période considérée est de 8 à 22 jours d'âge.

Le croisement utilisé est issu de New Hampshire et de Columbian Plymouth Rock à croissance lente (moins de 300 g de gain de poids entre 8 et 22 jours). Ces auteurs constatent que : 1) l'addition d'acide glutamique ne présente aucun intérêt : 2) l'addition de carbonate de potassium, pour compenser le potassium non fourni du fait de la réduction des apports de soja, n'exerce aucun effet, 3) l'arginine pose autant de problème que la lysine, 4) la valine est aussi limitante que la thréonine, 5) des supplémentations adéquates en acides aminés indispensables (méthionine, lysine, arginine, valine et thréonine) permettent des croissances équivalentes à celles du lot témoin. Les auteurs suggèrent que le besoin en valine est en général sous-estimé et que le besoin en acides aminés non-indispensables est inférieur à celui assuré ici par 19% de protéines.

Que conclure de ces résultats assez contradictoires ? Tout d'abord les expériences anciennes ou réalisées avec des animaux à croissance lente fournissent des conclusions très favorables à la supplémentation. Cependant, les protocoles (puissance des essais liée au nombre d'animaux) ne sont souvent pas très performants. Au contraire les résultats plus récents issus d'un grand nombre d'animaux et de croisements à forte vitesse de croissance conduisent très souvent à des conclusions plus pessimistes. Il est souvent difficile de compenser parfaitement par l'addition

Tableau 5. *Recherche des acides aminés limitants d'un régime à base de maïs et de tourteau de soja (8-22 jours). (Edmonds et al 1985).*

Régimes	gain de poids 8-22 j	Indice de consommation 8-22 j
24% protéines (2970 kcal EM/kg)	260 a	1,492
16% protéines (3150 kCal/kg)	188 d	2,008
16% protéines + 0,38% DL-méthionine	207 c	1,916
16% protéines + 0,38% DL-méthionine + 0,63% L-arginine	222 b	1,805
16% protéines + 0,38% DL-méthionine + 0,74% L-lysine HCl	199 cd	1,938
16% protéines + 0,38% DL-méthionine + 0,63% L-arginine + 0,74% L-lysine HCl	227 b	1,736
16% protéines + 0,38% DL-méthionine + 0,63% L-arginine + 0,74% L-lysine HCl + 0,30% L-thréonine + 0,15% L-tryptophane	225 b	1,695

Les moyennes accompagnées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$.

Tableau 6. *Effets des supplémentations d'un régime à base de maïs et de tourteau de soja par les acides aminés indispensables et l'acide glutamique. (Edmonds et al 1985).*

Régimes	Gain de poids (g) 8-22 j	Indice de consommation 8-22 j
24% protéines	266 a	1,484
16% protéines	201 d	1,916
16% protéines + acides aminés indispensables	228 c	1,587
16% protéines + acides aminés indispensables + 3% acide glutamique	251 b	1,508

Mélange d'acides aminés indispensables :
apporte : 0,39% DL-méthionine, 0,65% L-arginine, 0,75% L-lysine HCl, 0,30% L- thréonine, 0,13% L-tryptophane, 0,44% L-isoleucine, 0,45% L-Valine et 0,31% L-histidine HCl.

Tableau 7. *Performances de poulets femelles sous l'effet de supplémentation en acides aminés indispensables. (d'après Fancher et Jensen 1989a).*

Régimes (teneurs en protéines brutes)	22	18	15	13	11
Maïs	50,5	64,2	73,6	79,7	90,1
Tourteau de soja	37,4	25,6	17,0	11,2	
Graisse de volaille	8,4	6,3	4,7	3,6	1,7
Minéraux et vitamines	3,7	3,9	3,7	3,9	3,9
DL-méthionine		0,13	0,22	0,28	0,41
L-lysine HCl		0,03	0,29	0,46	0,79
L-arginine HCl			0,,26	0,48	0,92
L-thréonine			0,13	0,22	0,39
L-isoleucine				0,12	0,37
L-tryptophane				0,03	0,10
L-phénylalanine					0,34
Glycine					0,31
L-valine					0,25
L-leucine					0,19
L-histidine					0,16
Protéines brutes (%)	21,9	17,9	15,1	13,3	11,6
Gain de poids (21-42j)	944	922	913	799	717
Indice de consommation	2,079	2,105	2,283	2,433	2,639
Gras abdominal/poids vif (%)	1,92	2,20	2,47	2,56	2,80

Energie = 3300 kcal EM/kg

Tableau 8. *Performances de poulets mâles sous l'effet de supplémentation en acides aminés indispensables (21 à 42 jours). (Fancher et Jensen 1989b).*

Régimes	A	B	C	D
Maïs	49,9	59,3	70,1	63,2
Tourteau de soja	39,6	31,2	20,7	21,5
Acide glutamique				5,4
Graisse de volaille	6,7	5,4	3,7	4,4
Minéraux et vitamines				
DL-méthionine	0,10	0,18	0,29	0,30
L-lysine HCl			0,25	0,25
L-arginine			0,23	0,23
L-thréonine			0,15	0,15
L-isoleucine			0,09	0,09
L-tryptophane			0,01	0,01
Carbonate de potassium		0,25	0,57	0,57
Protéines brutes (%)	21,9	19,1	16,0	18,9
Gain de poids 21-42j (g)	1282	1273	1255	1233
Indice de consommation 21-42 j	2,053	2,092	2,146	2,101
Gras abdominal/poids vif (%)	1,53	1,81	2,09	1,74

Régimes à 3200 kcal EM/kg

d'acides aminés les réductions de concentrations en protéines. En particulier l'adiposité et l'indice de consommation demeurent élevés, suggérant un bilan énergétique accru par les suppléments d'acides aminés et le meilleur équilibre du profil d'acides aminés alimentaires.

Plusieurs remarques sont émises par la plupart des expérimentateurs : 1) l'arginine et la valine sont des acides aminés mal connus et dont les besoins sont probablement supérieurs à ce que l'on pense, 2) au contraire le tryptophane ne semble pas poser de problèmes dans des associations maïs + tourteau de soja, 3) la glycine est souvent négligée et pourrait être plus importante qu'on ne le croit, 4) les fortes réductions de teneurs en protéines sont difficiles à compenser par les apports d'acides aminés libres. Ceci pose le problème des acides aminés non-indispensables.

1.4 / Les acides aminés non-indispensables (AANI)

Les résultats expérimentaux sont rares sur ce thème. En 1961, Stucki et Harper, utilisant des régimes totalement synthétiques, proposent un rapport idéal AAI/AANI de 2 ; la glycine étant souvent considérée comme indispensable chez les oiseaux. Comme certains acides aminés sont utilisés sous les deux formes D et L, on peut recalculer ce ratio en ne comptabilisant que les formes L. Sa valeur atteint alors 1,44.

Plus récemment, Maruyama *et al* (1976), avec des régimes entièrement synthétiques, aboutissent à un rapport AAI/AANI de 1,1. Ils remarquent que l'acide glutamique est beaucoup plus efficace qu'un mélange d'AANI dont il est absent.

Bedford et Summers (1985) ont repris ce problème en étudiant entre 7 et 21 jours les performances de poussins, combinant 3 teneurs en protéines (14, 18 et 22%) et 4 ratios AAI/AANI (1,86 ; 1,22 ; 0,82 et 0,54) c'est-à-dire une teneur des protéines en AAI de 35, 45, 55 ou 65%. Les régimes sont à base de maïs, tourteau de soja, amidon et mélanges d'acides aminés. Quelle que soit la teneur en protéines, la croissance maximum est atteinte pour un rapport AAI/AANI de 1,22, soit une concentration des AAI de 55% (la glycine est considérée comme indispensable). On note tout de même que les régimes titrant 14% de protéines ne permettent pas des croissances aussi élevées que ceux à 18 et 22%. En outre on ne dispose d'aucune information à propos de l'efficacité alimentaire et de l'engraissement. De même aucun régime non supplémenté en acides aminés ne figure dans le protocole, ce qui rend difficile une évaluation du potentiel maximum de croissance du génotype utilisé. Enfin les auteurs concluent que leurs normes de référence (canadiennes) sont probablement sous-estimées.

Rappelons enfin que la plupart des expériences, évoquées lors des références sur la supplémentation en acides aminés indispensables, ne conduisent pas à des effets bénéfiques des supplémentations en acide glutamique, suggérant que le besoin en acides aminés non- indispensables n'est pas élevé. Cependant on doit nuancer les conclusions des auteurs puisque dans ces mêmes essais les régimes rééquilibrés en AAI ne conduisent pas aux mêmes performances que les témoins correspondants.

Tableau 9. *Performances de poulets mâles recevant des régimes supplémentés en acides aminés libres. (Pinchasov et al 1990).*

Régimes						
Protéines brutes	23	20	20	17	17	17
Lysine	1,36	1,20	1,13	1,20	1,12	1,04
Méthionine + cystine	0,93	0,93	0,87	0,93	0,87	0,81
Arginine	1,60	1,44	1,35	1,44	1,35	1,25
Thréonine	0,91	0,80	0,79	0,80	0,75	0,69
Tryptophane	0,28	0,23	0,23	0,23	0,21	0,20
Isoleucine	0,98	0,82	0,83	0,80	0,75	0,70
Valine	1,12	0,95	0,97	0,82	0,77	0,79
Leucine	2,02	1,79	1,82	1,47	1,52	1,56
A.A. aromatiques	2,07	1,80	1,82	1,42	1,48	1,52
Histidine	0,62	0,52	0,53	0,39	0,41	0,42
Gain de poids 7-21 j (g)	510	473	464	445	438	472
Indice de consommation	1,404	1,471	1,508	1,587	1,595	1,639

Régimes titrant 3200 kcal EM/kg à base de maIs, tourteau de soja et graisse de volailles.
Les chiffres en rouge correspondent à une supplémentation en acide aminé.

Tableau 10. *Performances entre 21 et 49 jours de poulets mâles recevant des régimes supplémentés en acides aminés indispensables. (Holsheimer et Janssen 1991).*

Protéines brutes	20	19	19	18	18	18	17	17	17	17
Lysine	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Méthionine + Cystine	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Isoleucine	0,92	0,86	0,86	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,86	0,75
Leucine	1,68	1,61	1,61	1,54	1,54	1,54	1,56	1,56	1,61	1,56
Valine	1,01	0,96	0,96	0,90	0,90	0,90	0,85	0,85	0,96	0,85
Thréonine	0,82	0,77	0,82	0,72	0,82	0,77	0,67	0,77	0,77	0,72
A.A. aromatiques	1,65	1,56	1,56	1,46	1,46	1,46	1,37	1,37	1,37	1,37
Tryptophane	0,24	0,22	0,24	0,20	0,24	0,22	0,19	0,22	0,22	0,20
Arginine	1,29	1,21	1,29	1,12	1,29	1,21	1,04	1,21	1,21	1,12
Histidine	0,51	0,48	0,48	0,46	0,46	0,46	0,43	0,43	0,43	0,43
Gain de poids 21-49 j (g)	1600	1579	1590	1589	1540	1544	1517	1555	1575	1569
Indice de consommation 21-49 j	1,99	2,05	2,04	2,07	2,05	2,10	2,14	2,02	2,06	2,10

Régimes à base de maïs et tourteau de soja titrant 3150 kcal EM/kg
Les chiffres en rouge indiquent une supplémentation en acides aminés.

1.5 / Les acides aminés libres alimentaires sont-ils moins efficaces que ceux des protéines ?

Cette hypothèse a été évoquée récemment par Jensen (1991) à la suite de nombreuses tentatives infructueuses d'abaissement des teneurs en protéines des aliments grâce à la supplémentation parallèle en AAI. Reprenant la bibliographie récente, Jensen suggère que lorsque le rapport entre acides aminés des protéines et acides aminés libres descend en dessous de 14 les performances de croissance sont altérées, même si le profil général est respecté par supplémentation, comme l'illustre la figure 1, issue des travaux de Conalgo *et al* (1991), rapportés par Jensen (1991).

Il est difficile pour le moment de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse. Elle permettrait d'expliquer certains échecs, en particulier quand on cherche à réduire fortement les

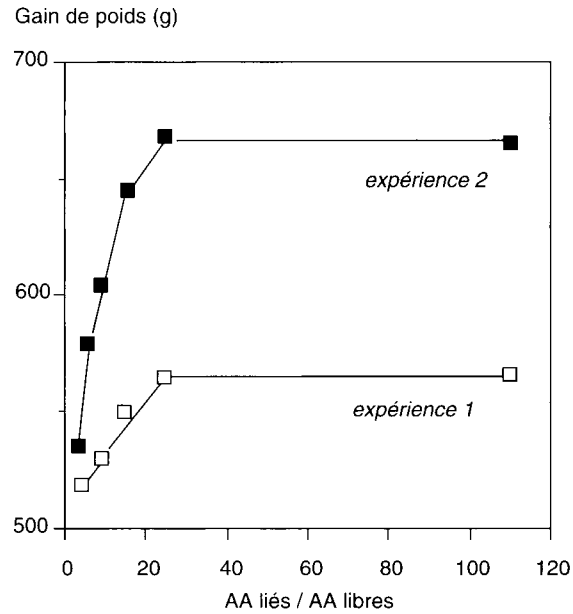


Figure 1.
Influence du rapport entre acides aminés liés et acides aminés libres sur la croissance du poulet (Jensen 1991).

apports de protéines et, donc, à faire appel plus massivement aux acides aminés industriels. Des investigations spécifiques devraient être envisagées dans ce domaine.

En conclusion il est certain que la supplémentation par des acides aminés de régimes dont on a abaissé la teneur en protéines permet de retrouver des performances de croissance assez proches des régimes riches non supplémentés. En général l'indice de consommation et l'adiposité demeurent plus élevés avec les faibles teneurs en protéines. Les discordances entre expérimentateurs peuvent avoir plusieurs causes : 1) une mauvaise connaissance du profil idéal d'acides aminés et des besoins, 2) un effet éventuel des fortes doses d'acides aminés libres alimentaires sur le métabolisme des animaux, 3) des réactions différentes des génotypes, les croisements récents à vitesse de croissance élevée paraissant plus sensibles. En pratique, l'arginine et la valine semblent être les acides aminés qui deviennent limitants après la méthionine, la lysine et la thréonine dans les associations maïs + tourteau de soja ; dans cette situation le tryptophane ne pose pas de problème.

2 / L'utilisation de génotypes de poulets plus efficaces

La deuxième voie à explorer pour utiliser plus efficacement les protéines et donc réduire les pertes d'azote consiste à sélectionner des génotypes de poulets transformant les protéines alimentaires en protéines corporelles avec un meilleur rendement. Nous avons eu l'occasion d'évoquer ce sujet en 1989 en montrant que tous les programmes de sélection pour accroître l'efficacité alimentaire ou réduire l'adiposité conduisaient à ce résultat (Leclercq 1989).

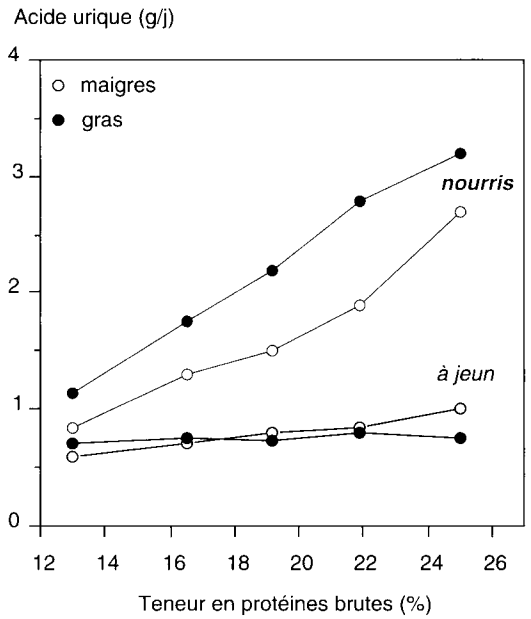
Des travaux plus minutieux ont été publiés depuis lors pour analyser ces phénomènes. Ils ont été réalisés essentiellement sur les lignées maigre ou grasse de l'INRA.

2.1 / Utilisation globale des protéines

L'excrétion d'acide urique est nettement plus élevée chez les poulets génétiquement gras que chez les maigres lorsqu'ils reçoivent les mêmes aliments, quelle que soit la teneur en protéines (figure 2). Cette différence entre lignées n'existe pas si les animaux sont à jeun. Il s'agit donc d'une différence d'ordre métabolique induite par l'alimentation (Geraert *et al* 1990).

On peut cependant se demander si cet écart ne pourrait s'expliquer par des niveaux différents de besoins en protéines. Si par exemple le besoin du génotype gras était plus faible que celui du maigre il serait normal d'observer un plus fort catabolisme des acides aminés en excès. C'est pourquoi une expérience a été entreprise en faisant varier les teneurs en protéines des aliments de 7,1% à 20,8%. Ceux-ci ont été fabriqués à partir d'un régime protéique dont le profil d'acides aminés a été calculé pour se rapprocher de celui recommandé par Boorman et Burgess (1985). Ce régime a été dilué avec des doses croissantes d'un régime sans protéines. Les résultats de croissance ont été identiques chez les deux lignées sous l'effet de la variation des teneurs en protéines (Leclercq et Guy 1991) (figure 3). Lorsqu'on calcule les régressions entre protéines consommées et rétention protéique totale (protéines tissulaires + protéines des plumes) on aboutit à des courbes décalées et dont les pentes dans la partie linéaire sont significativement différentes (figure 4). Par ailleurs il a été observé que le génotype maigre synthétise plus de plumes entre les âges de 4 et de 6 semaines, bien que les deux lignées soient identiques et homozygotes pour les gènes majeurs contrôlant l'emplumement (na et k). Des équations définissant le besoin en protéines (proches de la protéine idéale) ont pu être calculées.

Figure 2. *Excrétion quotidienne d'acide urique de poulet mâle de 5 semaines génétiquement maigre ou gras en fonction de la teneur en protéines de l'aliment (Geraert et al 1990).*



$$PI = 6{,}04\ W + 1{,}357\Delta P \quad \text{lignée maigre}$$

$$PI = 6{,}07\ W + 1{,}747\Delta P \quad \text{lignée grasse}$$

où : PI est la consommation journalière de protéines (en g), W est le poids vif (en kg), Δ P est le gain de protéines totales (g)

Il en ressort très clairement que : 1) le besoin d'entretien est semblable chez les deux lignées, 2) le rendement de conversion des protéines alimentaires en protéines corporelles est supérieur chez les maigres que chez les gras (73,7% vs 57,2%), 3) cette différence est observée quel que soit le taux protéique du régime, même en situation de carence prononcée.

2.2 / Recherche des acides aminés responsables

Nous avons comparé, lors de plusieurs essais, les concentrations d'acides aminés libres dans le plasma des poulets à l'état nourri, en vue de rechercher si la déviation métabo-

Figure 3. *Croissance (de 4 à 6 semaines) de poulets mâles génétiquement maigres ou gras en fonction de la teneur en protéines de l'aliment (Leclercq et Guy 1991).*

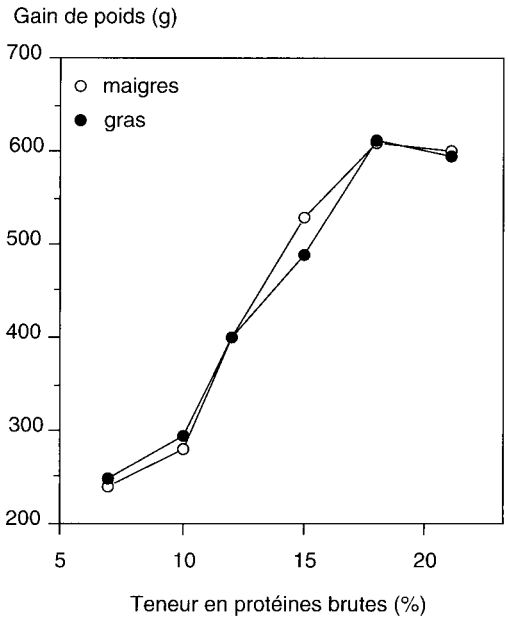
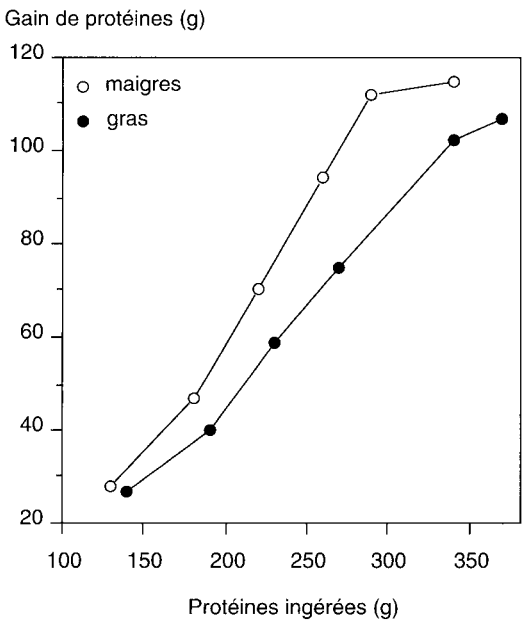


Tableau 11. *Différences de concentrations plasmatiques d'acides aminés libres chez des poulets maigres ou gras âgés de 5 semaines et nourris (Références : 1a et 1b : Geraert et al 1987 ; 2 : Leclercq et al 1993).*

	Référence		
Acide aminé	1a	1b	2
Lysine	0	+	-
Arginine	0	+	+
Acides aminés soufrés	+	+	+
Thréonine	0	-	+
Tryptophane			
Leucine	0	0	+
Isoleucine	0	0	+
Valine	0	+	+
Acides aminés aromatiques	0	0	+
Histidine	-	0	-
Glycine	+	-	0
Sérine	0	-	-
Acide glutamique	0	-	-
Acide aspartique			0
Alanine	-	0	0

+ : gras supérieur à maigre ; 0 : gras = maigre ; - : gras inférieur à maigre

Figure 4. *Rétention protéique de poulets mâles génétiquement maigres ou gras en fonction de la consommation de protéines entre 4 et 6 semaines (Leclercq et Guy 1991).*



lique observée ne pourrait pas s'expliquer par une utilisation anormale d'un acide aminé particulier ou d'une famille d'acides aminés. Les résultats sont résumés dans le tableau 11. Quelques différences ressortent systématiquement : 1) le plasma des poulets gras est plus riche en acides aminés soufrés et en acides aminés ramifiés et souvent en arginine, 2) le plasma des poulets maigres est plus riche en acide glutamique, sérine, histidine et peut-être alanine.

L'accumulation des acides aminés soufrés chez les poulets gras, qui peut être rapprochée des différences de synthèse des plumes, nous a conduit à rechercher d'éventuelles différences de besoin en acides aminés soufrés (Leclercq *et al* 1993). Quand on fait varier la teneur en méthionine d'un régime maïs + tourteau de soja on constate une sensibilité nettement plus accusée de la lignée maigre par rapport à la lignée grasse (figure 5).

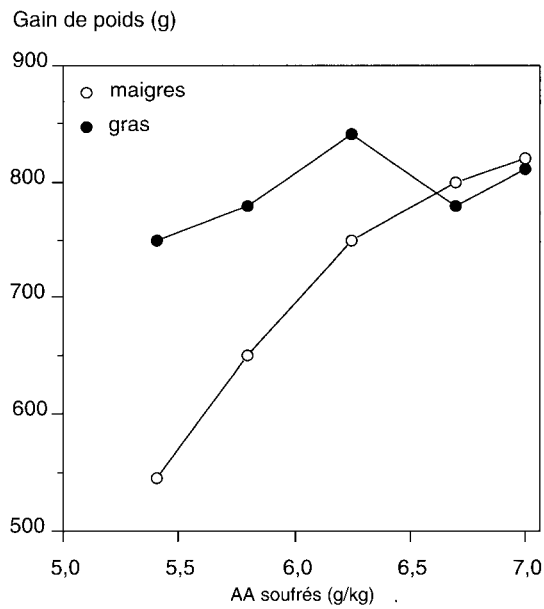


Figure 5. *Croissance (de 4 à 7 semaines) de poulets mâles génétiquement maigres ou gras en fonction de la teneur de l'aliment en acides aminés soufrés.(Leclercq et al 1993).*

Si on tente de relier le gain d'acides aminés soufrés, sous forme de plumes et de protéines tissulaires, à la quantité ingérée d'acides aminés soufrés, on observe des réponses curvilinéaires indiquant une utilisation systématiquement un peu meilleure de cette famille d'acides aminés chez la lignée maigre (figure 6). Cette différence ne semble toutefois pas suffisante pour expliquer la différence métabolique entre génotypes. Il y a donc lieu de rechercher parmi d'autres acides aminés les responsables des déviations du métabolisme protéique.

Tableau 12. *Différences des pertes azotées entre lignée maigre et lignée grasse (Leclercq et Guy 1991).*

Protéines brutes de l'aliment (%)	g N excrété par kg de gain de poids		
	Maigre	Gras	Δ (%)
7,3	32,9	37,2	-11,6
10,2	35,1	41,2	-14,8
12,6	32,4	38,2	-15,2
15,2	28,8	38,5	-25,2
18,0	30,3	42,5	-28,7
20,8	38,3	48,5	-21,0

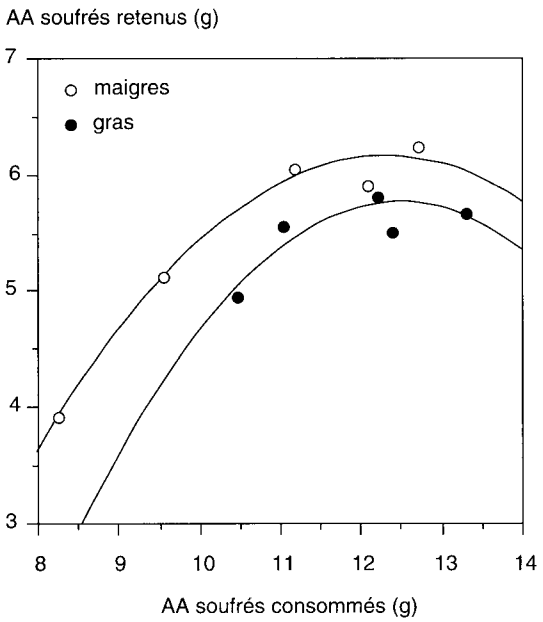


Figure 6. *Rétention d'acides aminés soufrés par des poulets génétiquement maigres ou gras en fonction de leur consommation d'acides aminés soufrés (Leclercq et al 1993).*

2.3 / Conséquences pratiques

Les résultats relatifs aux acides aminés soufrés semblent indiquer que le profil idéal des acides aminés (protéine idéale) dépend du génotype. Il est clair que, même s'il utilise plus efficacement les acides aminés soufrés, le poulet maigre exige des régimes relativement enrichis en ces derniers ; ce que l'on n'observe pas avec une protéine enrichie en tous les acides aminés indispensables. Il existe probablement d'autres acides aminés présentant ce type de différence. Ce qui suggérerait que la sélection génétique sur l'efficacité alimentaire et contre l'adiposité peut modifier l'équilibre entre acides aminés tel qu'il est proposé dans le tableau 2. S'il se révélait, par exemple, que les animaux maigres sont moins exigeants en acide glutamique et en sérine, acides aminés non-indispensables, ce que suggèrent les profils plasmatiques, on pourrait espérer disposer d'animaux capables d'utiliser des aliments enrichis en acides aminés libres indispensables et moins riches en protéines totales. De toutes façons la seule observation que les génotypes maigres présentent une meilleure efficacité alimentaire et une plus faible adiposité doit les rendre particulièrement adaptés aux stratégies d'utilisation des acides aminés, industriels, puisque, dans presque toutes les expériences de supplémentation évoquées en première partie de cet article, l'indice de consommation et l'adiposité sont les deux paramètres les plus altérés par l'abaissement des teneurs en protéines des aliments avec maintien des niveaux d'acides aminés indispensables.

La seconde retombée positive de ces génotypes maigres est leur faible excrétion azotée. Nous illustrons ce dernier point par les chiffres du tableau 12, calculés à partir des résultats d'une de nos expériences (Leclercq et Guy 1991). On peut remarquer une réduction de 15 à 30% de l'excrétion azotée par kg de poulet produit selon la teneur en protéines de l'aliment ; le besoin étant couvert avec une concentration minimum de 18% de protéines, la différence d'excrétion est de 28,7%. Si l'on considère que, par rapport à la population d'origine, la sélection divergente a été symétrique, il suffit de diviser par 2 l'économie pour se référer à un génotype non sélectionné. Donc la sélection pour une faible adiposité doit permettre de réduire de 14,3% les excrétions d'azote.

Conclusion

Les deux voies que nous avons développées, offertes actuellement à ceux qui veulent limiter les pollutions azotées en aviculture, sont probablement complémentaires voire additives. Abaisser de 2 points la teneur en protéines des aliments grâce à l'usage généralisé d'acides aminés industriels paraît tout à fait réalisable et réduirait de 10% les pertes d'azote. L'adoption de génotypes efficaces pour la synthèse protéique doit permettre une réduction d'environ 14% supplémentaire. Le progrès total est donc proche d'une réduction de 25%.

Si les génotypes maigres ne présentaient pas les défauts souvent observés actuellement (détérioration de l'efficacité alimentaire et adiposité) quand on cherche à réduire de 4 à 5 points les teneurs en protéines des aliments par supplémentation généralisée en acides aminés industriels, les 2 voies de progrès seraient plus qu'additives. La réduction maximum espérée pourrait être de l'ordre de 50% ; il semble difficile de pouvoir aller plus loin. Cela suppose cependant de produire tous les acides aminés à des prix compétitifs.

Références bibliographiques

Bedford M.R., Summers J.D., 1985. Influence of the ratio of essential to non essential amino acids on performance and carcase composition of the broiler chick. Brit. Poult. Sci., 26, 483-491.

Boorman K., Burgess A.D., 1985. Responses to amino acids. In : " Nutrient requirement of poultry and nutritional responses" Butterworths,pp 99-123.

Bornstein S., Lipstein B., 1975. The replacement of some of the soybean meal by the first limiting amino acids in practical diets. Brit. Poult. Sci., 16, 177-188.

Edmonds M.S., Parsons C.M., Baker D.H., 1985. Limiting amino acids in low-protein corn soybean meal diets fed to growing chicks. Poult. Sci., 64, 1519-1526.

Fancher B.I., Jensen L.S., 1989a. Influence on performance of three to six-week-old broilers of varying protein contents with supplementation of essential amino acid requirements. Poult. Sci., 68, 113-123.

Fancher B.I., Jensen L.S., 1989b. Male broiler performance during the starting and growing periods as affected by dietary proteins, essential amino acids and potassium levels. Poult. Sci., 68, 1385-1395.

Geraert P.A., Leclercq B., Larbier M., 1987. Effects of dietary glucogenic amino acid supplementation on growth performance, body composition and plasma free amino acid levels in genetically lean and fat chickens. Reprod. Nutr. Develop., 27, 1041-1051.

Geraert P.A., Mc Leod M.G., Larbier M., Leclercq B., 1990. Nitrogen metabolism in genetically fat and lean chickens. Poult. Sci., 69, 1911-1921.

Han Y., Suzuki H., Parsons C.M., Baker D.H., 1992. Amino acid fortification of a low protein corn and soybean meal diet for chicks. Poult. Sci., 71, 1168-1178.

Holsheimer J.P., Janssen W.M.M., 1991. Limiting amino acids in low protein maize-soybean meal diets fed to broiler chicks from 3 to 7 weeks of age. Brit. Poult. Sci., 32, 151-158.

Jensen L.S., 1991. Broiler performance as affected by intact proteins versus synthetic amino acids. In "Proceedings of Georgia Poultry Conference", Athens, pp. 83-89.

Leclercq B., 1989. Possibilités d'obtention et intérêt des génotypes maigres en aviculture. INRA Prod. anim., 2, 275-286.

Leclercq B., Chagneau A.M., Cochard T., Hamzaoui S., Larbier M., 1993. Comparative utilisation of sulfur amino acids by genetically lean or fat chickens. Brit. Poult. Sci., 34, sous presse.

Leclercq B., Guy G., 1991. Further investigations on protein requirement of genetically lean and fat chickens. Brit. Poult. Sci., 32, 789-798.

Maruyama K., Sunde M.L., Harper A.E., 1976. Is L-glutamic acid nutritionally a dispensable amino acid for young chick ? Poult. Sci. 55, 45-60.

N.R.C., 1984. Nutrient requirements of poultry (8th edition). National Academic Press, Washington DC, 71 pp.

Parr J.F., Summers J.D., 1991. The effect of minimizing amino acid excesses in diets. Poult. Sci., 70, 1540-1549.

Pinchasov Y., Mendonca C.X., Jensen L.S., 1990. Broiler chick response to low protein diets supplemented with synthetic amino acids. Poult. Sci., 69, 1950-1955.

Rhône-Poulenc Animal Nutrition, 1987. Recommandations pour la nutrition animale (5ème édition). Rhône-Poulenc Animal Nutrition, Antony, 86 pp.

Schutte J.B., 1987. Utilisation of synthetic amino acids in poultry. In : " Proceedings of the 6 th European Symposium on Poultry Nutrition", Koeniglutter, pp RT 11-12.

Scott M.L., Nesheim M.C., Young R.J., 1982. Nutrition of the chicken (3rd Edition). M.L. Scott and Assoc., Ithaca, 562 pp.

Stucki W.P., Harper A.E., 1961. Importance of dispensable amino acids for normal growth of chicks. J. Nutr., 74, 377-383.

Waldroup P.W., Mitchell R.J., Payne J.R., Hazen K.R., 1976. Performance of chicks fed diets formulated to minimize excess levels of essential amino acids. Poult. Sci., 55, 243-253.

Summary

The possibilities for reducing nitrogen losses in poultry farming.

Nitrogen loss is a potential source of pollution in poultry production. It may be reduced by either greater use of mass produced amino acids or by chicken genotypes which use dietary amino acids more efficiently. Unsufficient knowledge of the precise requirements in limiting amino acids after methionine and lysine or a slight toxicity at high concentrations of free amino acids in feed can pose problems. However, a reduction of 10% in nitrogen waste can be expected through this technique, without affecting production. Adding more amino acids could lead to a reduction of 35% in nitrogen waste as long as growth rate and feed efficiency were not affected adversely.

Genotypes transforming dietary amino acids into body proteins more efficiently may give a reduction of 15% in nitrogen loss. These genotypes will probably exhibit changes in their relative needs of amino acids.

Overall, both these approaches give grounds for hope of reducing nitrogen loss by up to 50% in intensive poultry farming. At the present time they can contribute to a reduction of 25%.

LECLERCQ B., TESSERAUD S. 1993. Possibilités de réduction des rejets azotés en aviculture. INRA Prod. Anim., 6 (3), 225 - 236 .