

B. LECLERCQ

INRA Station de Recherches Avicoles
37380 Nouzilly

Les rejets azotés issus de l'aviculture : importance et progrès envisageables

L'aviculture française est constituée de plusieurs filières exploitant des espèces animales différentes. Plus ou moins bien connus et maîtrisés, les besoins et apports en acides aminés chez ces espèces peuvent conduire à des rendements d'utilisation assez variables et donc à des rejets d'azote d'inégale importance. Des solutions existent pour les réduire. Elles ont cependant des limites qui peuvent servir d'objectifs à atteindre en zone d'aviculture intensive ; elles peuvent aussi fournir des bases pour d'éventuelles mesures incitatives destinées à réduire les rejets d'élevage.

L'estimation de l'importance des rejets azotés en aviculture, la recherche de solutions pour les réduire et la mise en place de règles législatives pour maîtriser et diminuer ce risque de pollution exigeant, comme préalable, de disposer d'éléments d'évaluation de l'état actuel des bilans azotés des élevages. C'est ce que nous présentons dans la première partie de cet article. En effet l'aviculture est constituée de plusieurs filières et « exploite » plusieurs espèces animales pour lesquelles il nous faut disposer de chiffres moyens permettant le calcul des rejets.

Par ailleurs on dispose de plus en plus de solutions pour réduire ces rejets. Le plus souvent elles s'appuient sur une meilleure adéquation des apports aux besoins. Cela néces-

site de bien connaître les besoins des différentes espèces, dont certaines sont assez mal étudiées parce que d'élevage récent. L'usage d'acides aminés produits industriellement va probablement s'amplifier dans les prochaines décennies, ce qui permettra de diminuer l'apport azoté global. Encore faut-il disposer d'informations fiables pour généraliser leur emploi et estimer les conséquences à la fois sur les productions et sur les rejets. C'est l'objet de la seconde partie du présent article.

1 / Les rejets azotés des filières avicoles

Nous présentons dans les tableaux 1 et 2 les rejets moyens d'azote des différentes productions avicoles. Il s'agit d'estimations obtenues par bilan d'azote d'après la teneur usuelle des aliments en protéines brutes et la composition moyenne des produits avicoles. On peut remarquer que les quantités d'azote excrétées augmentent avec l'âge pour une même espèce, quand on les rapporte au gain de poids. Cela peut s'expliquer en partie par une moins bonne connaissance des besoins des animaux en finition qu'en démarrage, les expérimentations étant beaucoup plus lourdes et onéreuses sur des animaux en finition. Pour le bilan global, les espèces à cycle

Résumé

Cet article propose des estimations des rejets azotés pour les différentes filières avicoles : poulets de chair, dinde, pintades, canards de Barbarie, poules pondeuses. Ces estimations, ainsi que des analyses des études expérimentales sur l'emploi des acides aminés « industriels », permettent d'évaluer les conséquences d'une réduction des apports protéiques sur les rejets d'azote. Avec les acides aminés actuellement commercialisés on peut estimer une réduction des rejets de 10 à 20 %. Des progrès plus importants seraient réalisables si l'on disposait de valine, d'isoleucine et d'arginine à des prix raisonnables. L'incidence économique de l'usage de ces nouveaux acides aminés peut être estimée par nos calculs.

Tableau 1. Rejets azotés moyens des volailles de chair.

	Protéines brutes de l'aliment (g/kg)	Consommation (g)	Gain de poids (g)	Excrétion d'azote
Poulet de chair mâle				
Démarrage (0 - 21 j)	230	1,40 *	800	19,5
Finition (21 - 39 j)	200	1,95 *	1 500	32,0
Bilan global				27,7
Poulet de chair femelle				
Démarrage (0 - 21 j)	230	1,45 *	750	21,5
Finition (21 - 39 j)	200	2,05 *	1 250	36,7
Bilan global				31,0
Dindonneau mâle				
Démarrage (0 - 28 j)	290	1 375	980	23,6
Croissance 1 (28 - 56 j)	250	5 220	3 120	33,3
Croissance 2 (56 - 84 j)	220	9 140	4 030	43,8
Finition (84 - 112 j)	200	12 000	3 550	71,4
Bilan global				48,3
Dindonneau femelle				
Démarrage (0 - 28 j)	290	1 200	820	35,9
Croissance (28 - 56 j)	250	4 300	2 350	39,6
Finition (56 - 84 j)	220	7 000	2 680	56,8
Bilan global				46,5
Caneton de Barbarie mâle				
Démarrage (0 - 28 j)	190	2 310	1 200	32,1
Croissance (28 - 56 j)	180	5 740	2 250	46,3
Finition (56 - 84 j)	170	4 950	1 100	92,0
Bilan global				53,0
Pintadeau de chair				
Démarrage (0 - 28 j)	240	910	490	36,1
Croissance (28 - 56 j)	220	1 880	760	51,0
Finition (56 - 79 j)	200	1 750	320	138,1
Bilan global				62,9

* Indice partiel de consommation.

Tableau 2. Rejets azotés moyens de la poule pondeuse.

Hypothèses : performances à 72 semaines d'âge	
nombre d'œufs	301,3
consommation (g/j)	115
gain de poids vif (g)	400
Teneurs en protéines (g/kg)	
œuf	111
gain de poids	50
aliment	170
Bilan azoté (g)	
N ingéré	1 038
N œuf	374
N gain de poids	3
N excrétré / poule	661
N excrétré / œuf	2,19

long (dindonneau, caneton) rejettent plus d'azote par kg de poids vif final que le poulet à cycle court.

Pour la poule pondeuse nous avons adopté deux modes d'expression : la quantité d'azote rejetée par poule (cycle de ponte de 19 à 72 semaines d'âge) ou par œuf. Nous n'avons pas inclus les rejets de la période d'élevage qui sont assez importants, puisque l'animal ingère alors des excès de protéines dont il est bien obligé de se débarrasser après métabolisation. On peut estimer qu'une poulette de croisement destinée à la production d'œuf de consommation rejette en moyenne 155 g d'azote entre l'éclosion et l'entrée en ponte ; une reproductrice de type « chair » produit environ 120 g d'azote sous forme de déchets azotés entre l'éclosion et 19 semaines d'âge. Si on incorpore les rejets azotés de la poulette dans le bilan global de la ponte, on obtient 816 g, soit 2,71 g par œuf.

2 / La protéine « idéale » des espèces avicoles

Le concept de protéine « idéale » correspond à un équilibre général des acides aminés alimentaires digestibles qui couvre exactement

le besoin de l'animal et permet ainsi de minimiser le catabolisme des acides aminés et, par voie de conséquence, les rejets d'azote (surtout de l'acide urique). Il s'agit donc de connaître parfaitement ce dont l'animal a besoin et, d'autre part, essayer d'ajuster au mieux les apports en chacun des acides aminés.

2.1 / Les besoins en acides aminés des espèces avicoles

Les nutritionnistes s'intéressent en permanence à l'étude de ces besoins ; ce qui conduit à la publication périodique de tables de recommandations. La plus connue est celle du National Research Council (NRC) américain qui fait référence internationalement, bien que remise en question fréquemment par les travaux de recherche. Des universités américaines, des instituts de recherche (dont l'INRA) et des firmes privées (Rhone Poulen Animal Nutrition, par exemple) publient également leurs normes.

Leur remise en question s'explique pour plusieurs raisons : 1) la notion et le mode d'expression des besoins évoluent ; 2) les génotypes exploités en aviculture sont profondément modifiés d'année en année ; 3) l'estimation des besoins en acides aminés limitants secondaires (tryptophane, thréonine, valine, isoleucine, arginine...) a été assez incertaine jusqu'à présent pour des raisons expérimentales.

La notion et le mode d'expression des besoins changent du fait que le critère sur lequel repose leur calcul suit la demande des filières avicoles. C'est ainsi que la plupart des tables et des expérimentations reposent encore sur la vitesse de croissance comme critère de satisfaction du besoin. Il s'agit souvent, pour les acides aminés, de la vitesse de croissance en période de démarrage parce que les expérimentations sont alors aisées et peu onéreuses. En revanche, les besoins en période de finition sont beaucoup moins bien connus. C'est pourtant à ce moment là que les animaux consomment le plus. L'estimation de l'efficacité alimentaire, aussi retenue comme critère, est souvent moins précise que la simple performance de croissance. Outre ces deux critères classiques d'estimation des besoins, sont apparues récemment des mesures de rendement en viande (surtout les muscles pectoraux) et en tissus adipeux (avec le souci de les réduire). Pour ces nouveaux critères, les données expérimentales sont moins nombreuses. Enfin on peut imaginer que d'autres critères supplémentaires vont voir le jour ; par exemple, les rejets azotés induits par l'aliment. La notion de besoin va probablement à l'avenir évoluer vers une intégration de critères (croissance, efficacité alimentaire, qualité des carcasses, rejets azotés...) dans une fonction économique qu'il s'agira d'optimiser.

A titre d'exemple nous illustrons, par une expérience récente, le fait que le niveau des

besoins en acides aminés dépend du critère de mesure. Ainsi dans l'expérience résumée dans le tableau 3, la hiérarchie croissante des besoins est la suivante : vitesse de croissance < rendement en muscles < efficacité alimentaire < adiposité réduite. Une filière organisée sur la vente de poulet entier n'aura probablement pas la même façon de raisonner sa formulation d'aliment qu'une filière entièrement orientée vers la découpe.

Si les critères servant à déterminer les besoins en acides aminés évoluent, les méthodes biométriques d'expression se perfectionnent également. On est passé du modèle « linéaire à plateau », traditionnel, à des modèles curvilinéaires correspondant mieux aux observations. Des modèles, comme celui développé en Grande-Bretagne (Reading), tentent d'approcher la réponse de populations d'individus et de fournir des méthodes intégrant les réponses biologiques et le bilan économique. A titre d'illustration le tableau 4 présente les résultats de deux approches différentes (Pesti 1994) : l'approche classique, qui par programmation linéaire calcule la proportion des diverses matières premières de façon à formuler une ration aux caractéristiques issues de tables (niveau énergétique préfixé, teneurs en acides aminés présentant des seuils minimum), une approche combinant le calcul de la formule aux moindres coûts à un modèle de réponse (curvilinéaire) du poulet aux concentrations d'énergie et de protéines dans l'aliment. Dans cette deuxième approche on ne cherche ni à minimiser le coût de l'aliment, ni à respecter des normes tirées de tables ; on cherche le meilleur bilan entre dépenses d'alimentation et recettes de vente de poulet. Comme on peut le remarquer les formules auxquelles on aboutit sont très différentes ; de même que la durée d'élevage et l'indice de consommation. Cette démarche « biologico-économique » ne peut être adoptée que dans une filière parfaitement intégrée où on ne cherche plus les vitesses de croissance les plus élevées, ni les indices de consommation les plus bas, mais la meilleure rentabilité économique de l'ensemble.

Le niveau de besoin en acides aminés dépend du critère retenu : croissance, rendement en muscles, etc.

Tableau 3. Performances de poulets de chair mâles en période de finition (entre 20 et 40 jours) en fonction de la teneur en protéines de l'aliment (profil en acides aminés proche de la protéine « idéale »). D'après Leclercq et al (1995).

Aliment	A	B	C	D	E
Protéines brutes (g/kg)	147	167	181	194	215
Lysine digestible (g/kg)	8,2	9,3	9,9	10,1	10,7
Acides aminés soufrés (g/kg)	6,6	7,5	7,9	8,1	9,0
Thréonine digestible (g/kg)	5,3	6,1	6,3	6,6	7,2
Tryptophane digestible (g/kg)	1,6	1,8	2,0	2,3	2,5
Arginine digestible (g/kg)	9,1	9,8	11,0	11,3	12,5
Gain de poids (g/j)	76,2	77,4	77,7	77,1	78,4
Indice de consommation (g/g)	2,02 c	1,94 b	1,88 a	1,84 a	1,86 a
Gras abdominal (g/kg)	33,4 b	37,7 c	32,4 b	32,1 b	26,6 a
Muscles pectoraux (g/kg)	145 a	157 b	152 b	157 b	154 b
Rejets azotés (g/kg)	17,4	21,9	24,4	27,2	33,2

Tableau 4. Caractéristiques des formules de finition et performances calculées de poulets de chair selon deux méthodes d'optimisation (d'après Pesti 1994 ; voir l'article original pour le contexte des prix et les réponses biologiques curvilinéaires).

Objectif Méthode	Prix minimum de l'aliment - caractéristiques fixes - programmation linéaire	Prix maximum du kg de poulet - caractéristiques libres - réponses biologiques curvilinéaires des performances - programmation linéaire
Maïs (g/kg)	664	546
Tourteau de soja (g/kg)	209	261
Farine de viande 55G (g/kg)	50	38
Son de blé (g/kg)	0	66
Graisse animale (g/kg)	50	10
DL-méthionine	1,2	1,4
L-thréonine	0,1	0
L-lysine HCl	0,9	0,7
Minéraux et vitamines	complément	complément
Concentration énergétique (kcal/kg)	3 250 *	2 800
Protéines brutes (g/kg)	190 *	220
Poids vif (g)	2 000	2 000
Age à l'abattage (j)	45,9	41,7
Consommation (g)	3 789	3 667
Indice de consommation	1,895	2,039
Profit (F / poulet)	3,93	4,37

* Imposées.

2.2 / Influence de l'amélioration génétique sur les besoins

Une autre cause de changement possible des besoins réside dans la sélection génétique des espèces exploitées par les filières. C'est certainement en aviculture que l'amélioration génétique a produit ses effets les plus spectaculaires. La vitesse de croissance a été doublée en 30 ans pour le poulet. Chez le dindon et le canard de Barbarie on a assisté à un alourdissement des poids vifs à l'abattage, les animaux étant destinés en quasi-totalité à la découpe. En outre, depuis un peu plus de 10 ans, de nouveaux critères de sélection ont été proposés : efficacité alimentaire (indice de consommation), rendement en viandes (surtout filets), réduction de l'adiposité... On peut donc se demander si toutes ces modifications des génotypes n'a pas entraîné en parallèle des changements de régulation des métabolismes et, par conséquent, de nouveaux besoins en acides aminés. Le nombre de réponses à cette question est relativement limité pour le moment.

La sélection sur la vitesse de croissance ne semble pas *a priori* entraîner une augmentation du besoin exprimé en termes de teneurs de l'aliment en acides aminés. Morris et Njuru (1990) ont comparé les réponses de poussins mâles issus d'un croisement destiné à la ponte (type Rhode Island Red) et d'un croisement pour poussin de chair lors de modifications de la teneur en protéines de l'aliment (de 167 à 251 g/kg). La période d'observation concerne les 21 premiers jours de vie. Le poussin de type ponte atteint la

vitesse maximum de croissance avec 188 g de protéines par kg d'aliment, alors que la concentration de 251 g/kg n'est pas suffisante pour le poussin de type chair. Toutefois l'efficacité d'utilisation des protéines (au-dessus du besoin d'entretien) demeure identique pour les 2 types génétiques (0,47 g de protéine par g de gain de poids). La capacité limitée d'ingestion du poussin de type chair, en regard de son potentiel de croissance, expliquerait ces réactions différentes. Notons que la période étudiée est celle du démarrage qui ne représente qu'une part minime de la consommation totale d'aliment.

Plus récemment Han et Baker (1994) ont recherché d'éventuelles différences du besoin en lysine digestible chez des poussins de type « chair » provenant de deux lignées expérimentales présentant des vitesses de croissance différentes mais issues d'une même population d'origine. La période expérimentale

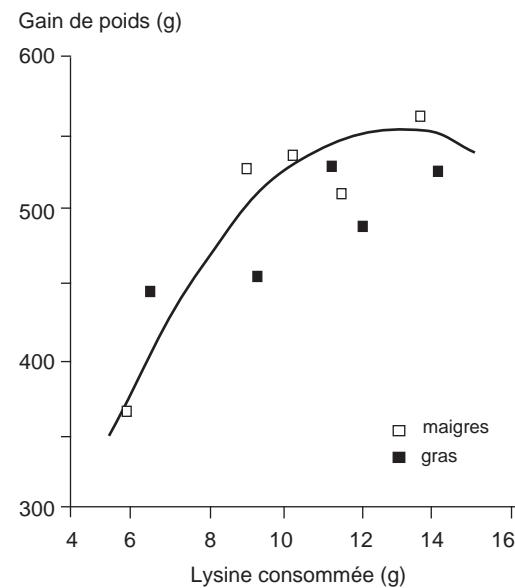
Tableau 5. Influence de la vitesse de croissance du poulet de chair (lignées à croissance lente et rapide) sur les besoins en lysine digestible entre 8 et 22 jours d'âge (g/kg). Recalculé à partir des données de Han et Baker (1993).

	Critère	Lente	Rapide
Mâles	GMQ	11,3	11,6
	Indice de conso.	12,7	13,1
Femelles	GMQ	10,9	11,0
	Indice de conso.	11,4	11,9

tale s'étendait entre 8 et 22 jours. Nous rapportons dans le tableau 5 les besoins en lysine digestible (g/kg) selon le sexe, la lignée et le critère zootechnique ; nos résultats sont issus de calculs faits à partir des données de Han et Baker mais en les traitant par modèle polynomial de façon à estimer objectivement un maximum aux courbes de réponse. Il n'en ressort aucune différence nette entre les besoins en lysine digestible des lignées, le besoin pour l'efficacité alimentaire maximum étant toujours supérieur à celui déterminé pour la vitesse de croissance la plus élevée.

La sélection sur des critères nouveaux, comme l'efficacité alimentaire ou la répartition des masses musculaires ou adipeuses, induit des modifications plus prononcées des besoins. Nous avons dès 1983 (Leclercq) montré qu'une lignée sélectionnée pour une adiposité réduite était plus sensible aux abaissements de la teneur en protéine de l'aliment qu'une lignée-sœur sélectionnée pour une adiposité élevée. Réalisant des essais semblables sur des lignées présentant une concentration plasmatique faible ou élevée de VLDL (lipoprotéines de très basse densité), donc à adiposité réduite ou augmentée, Whiteman (1990) retrouve un phénomène identique, quoiqu'un peu moins prononcé. Plus récemment nous avons repris ces comparaisons sur les deux lignées INRA (rapport gras abdominal/poids vif faible ou élevé) en nous intéressant aux acides aminés soufrés, à la lysine et à l'arginine (Leclercq *et al* 1994). Dans les trois situations on observe systématiquement que le génotype maigre est plus sensible (réduction de croissance) aux faibles teneurs de l'aliment en l'un de ces acides aminés. Ceux-ci doivent donc être apportés en plus grande quantité dans les aliments des animaux maigres. Ce qui ne signifie pas que ces poulets soient plus exigeants en ces acides aminés, ou bien les utilisent avec un rendement défectueux. Bien au contraire, les rendements d'utilisation métabolique de ces acides aminés sont meilleurs chez le génotype maigre. On peut soupçonner qu'un problème d'appétit soit en partie (ou en totalité) à l'origine de cette sensibilité plus nette des génotypes maigres aux déséquilibres des acides aminés de l'aliment. En effet, en cas de déficiences en acides aminés soufrés, lysine ou arginine, les animaux maigres et animaux gras se situent sur une même courbe de régression entre gain de poids et quantité de l'acide aminé indispensable ingéré, comme l'illustre la figure 1. De plus, si on réduit la teneur en protéines de l'aliment (protéine bien équilibrée) par dilution avec une fraction sans protéines, les effets sur les 2 génotypes sont rigoureusement comparables en termes de relation entre gain de poids et teneur de l'aliment en protéines. Enfin, quand on laisse le choix aux animaux entre 2 aliments, l'un pauvre en protéines (145 g/kg) et l'autre riche (269 g/kg) le génotype maigre consomme spontanément une proportion plus importante de l'aliment riche en protéines.

Figure 1. Gain de poids entre 28 et 42 jours de poulets mâles génétiquement maigres ou gras selon la quantité de lysine digestible ingérée (Leclercq *et al* 1994).



D'autres différences entre génotypes maigre et gras concernent les acides aminés non-indispensables. Géraert *et al* (1986) ont clairement montré que les poulets gras incorporent beaucoup plus de carbone, venant de l'acide glutamique ou de l'alanine, dans les acides gras des réserves adipeuses : cela signifie qu'une déviation du métabolisme concerne au moins ces deux acides aminés, dont les produits de désamination (tel l'acide pyruvique) servent de substrat à la lipogenèse dans des proportions beaucoup plus élevées chez les animaux gras. Ce phénomène expliquerait pourquoi les poulets gras tendent à ralentir leur croissance en cas de réduction de l'apport d'acides aminés non-indispensables (Leclercq *et al* 1994). De même il a été observé que si les poulets gras réduisent bien leur engrangement, comme les poulets maigres, lorsque la teneur de l'aliment en protéines (essentiellement de soja) augmente, il en est différemment si l'on procède à une addition d'acide glutamique et d'acide aspartique. Dans ce cas les poulets maigres deviennent plus maigres, alors que l'adiposité des poulets gras demeure inchangée ; ce qui s'expliquerait par l'utilisation accrue du carbone des acides aminés non-indispensables pour la lipogenèse chez les poulets gras.

Pour conclure cet aspect du problème, il faut noter que l'on dispose de plus en plus d'arguments plaidant en faveur de modifications des besoins en acides aminés, qu'ils soient ou non indispensables, liées à la sélection de nouveaux génotypes. Le nombre de publications demeure faible, mais les observations sont suffisamment cohérentes et convergentes pour soutenir solidement cette hypothèse. Dans la pratique, la sélection avicole s'intéresse à plusieurs critères à la fois et

En revanche, les besoins en AA différent entre lignées sélectionnées sur l'efficacité alimentaire.

progresse moins vite que la sélection expérimentale sur un seul d'entre eux. Les différences de besoins induites par la sélection génétique devraient donc apparaître de façon très progressive. Elles sont, d'ores et déjà, suggérées par des comparaisons de croisements commerciaux (Moran 1994).

2.3 / L'équilibre « idéal » entre acides aminés

Pour le poulet de chair plusieurs propositions ont été publiées. On peut les exprimer, par commodité, en prenant la lysine comme base de calcul et la vitesse de croissance comme critère de besoin. En effet la lysine est l'un des acides aminés les plus limitants en pratique et, surtout, il est très facile d'induire des carences très prononcées, ce qui rend aisée et précise la mesure expérimentale de son besoin. Dans le tableau 6 nous avons rassemblé les recommandations les plus récentes. Elles ont été établies le plus souvent chez des poussins en démarrage (7 à 21 jours) et sur quelques acides aminés seulement : lysine, acides aminés soufrés, thréonine, tryptophane et arginine. On dispose de très peu d'informations expérimentales pour les autres acides aminés. Les valeurs proposées sont, le plus souvent, issues de calculs

tenant en compte la composition en acides aminés des protéines corporelles. C'est en particulier le cas de la leucine et de la somme phénylalanine + tyrosine pour lesquels il est très difficile d'induire des déficiences.

Une bonne concordance entre recommandations peut être observée pour la thréonine, le tryptophane et l'isoleucine. En revanche les valeurs proposées pour les acides aminés soufrés, l'arginine et la valine sont assez hétérogènes. A l'avenir des efforts devraient être faits pour déterminer les besoins en ces acides aminés et aussi en prenant en considération l'âge des animaux et des critères plus fins que la seule vitesse de croissance.

Pour la poule pondeuse les propositions font l'objet du tableau 7. On note une certaine hétérogénéité pour le tryptophane, l'arginine et l'isoleucine. Il existe bien des similitudes entre les propositions formulées pour le poulet et celles de la poule pondeuse. La poule semble cependant plus exigeante que le poulet, en valeur relative, pour la valine et le tryptophane. La situation paraît inverse pour l'arginine.

En conclusion, on constate un certain accord sur le profil idéal en acides aminés indispensables de l'aliment destiné au poulet ou à la poule pondeuse. Toutefois pour quelques acides aminés il y aurait lieu d'être plus précis.

Demeure enfin la question des acides aminés non indispensables (AANI) pour lesquels on dispose toujours de peu d'information. C'est pourtant sur eux aussi que risquent de buter les tentatives d'abaissement important des apports protéiques, si la supplémentation par des acides aminés indispensables s'amplifie. L'étude de Bedford et Summers (1985) suggère que ces acides aminés non indispensables devraient représenter 45 % des acides aminés totaux. Encore faudrait-il s'accorder sur la liste de ces acides aminés, bien des nutritionnistes plaçant (abusivement à notre avis) la glycine dans ce groupe. Des expérimentations récentes (Leclercq *et al* 1995 et non publié) sont en accord avec cette proportion. Nous présentons dans le tableau 8 l'essentiel d'une expérience sur ce thème chez le poulet en finition. Il ressort de cet essai que les acides aminés non indispensables peuvent sans problème constituer moins de 46 % des acides aminés totaux. Cette information est suffisante pour le moment. En effet il faudrait disposer d'arginine, d'isoleucine et de valine à des prix très concurrentiels pour envisager d'abaisser les teneurs en protéines des aliments à un niveau où la teneur en AANI passerait sous le seuil de 45 % des acides aminés totaux.

3 / Les déséquilibres des matières premières

En ce qui concerne les acides aminés, l'art du nutritionniste a été, depuis longtemps, d'associer les différentes matières de façon à

Tableau 6. Equilibre idéal entre acides aminés alimentaires pour le poulet de chair, par rapport à la lysine. (NRC : National Research Council, IICP : Illinois Ideal Crude Protein).

	Boorman 1985	NRC 1984	NRC 1994	IICP Baker 1994
Lysine	100	100	100	100
Acides aminés soufrés	76	78	82	72
Méthionine		42	46	36
Thréonine	63	67	73	67
Tryptophane	17	19	18	16
Arginine	108	120	114	105
Issoleucine	72	67	73	67
Valine	79	68	82	77
Leucine	126	113	109	111
Phénylalanine + Tyrosine	121	112	122	105
Histidine	40	29	32	37

Tableau 7. Equilibre idéal entre acides aminés alimentaires chez la poule pondeuse (RPAN : Rhône Poulenc Animal Nutrition).

	Degussa 1993	RPAN 1993	NRC 1994	Sauveur 1988
Lysine	100	100	100	100
Acides aminés soufrés	90	88	84	80
Méthionine		53	43	46
Thréonine		67	68	69
Tryptophane	18	22	23	23
Arginine	105		101	90
Issoleucine	77		94	76
Valine			101	90
Leucine			119	121
Phénylalanine + Tyrosine				131
Histidine				34

Tableau 8. Influence des acides aminés non indispensables sur les performances du poulet de chair en finition (21-39 jours). Les régimes 1, 3 et 5 ont la même composition si ce n'est l'addition d'acide glutamique et d'acide aspartique (3/1). D'après B. Leclercq (non publié).

Régimes	1	3	5	Témoin	Besoin estimé
Energie métabolisable (kcal/kg)	3 200	3 200	3 200	3 200	
Protéines brutes (g/kg)	162	172	187	208	
Lysine digestible (g/kg)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Acides aminés soufrés digestibles (g/kg)	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
Thréonine digestible (g/kg)	6,6	6,6	6,6	7,0	6,6
Tryptophane digestible (g/kg)	1,7	1,7	1,7	2,1	1,7
Arginine digestible (g/kg)	10,5	10,5	10,5	12,3	10,5
AANI digestibles (g/kg)	67,9	87,9	107,9	92,2	
AANI/Acides aminés totaux (%)	45,6	52,1	57,1	49,2	
GMQ (g)	74,4	72,6	74,8	75,3	
Indice de consommation	2,00 b	1,96 ab	1,94 ab	1,90 a	
Muscles pectoraux (g/kg poids vif)	142	144	143	148	
Gras abdominal (g/kg poids vif)	28,8 b	28,1 b	27,3 b	22,6 a	

Tableau 9. Equilibres en acides aminés indispensables des principales matières premières (% de la protéine). D'après Degussa (1990).

Valeurs en gras : excès pouvant poser des problèmes, valeurs en rouge : déficience grave.

	Blé	Maïs	Orge	Soja	Colza	Tournesol	Protéine idéale * pour poulet
Lysine	2,8	2,9	3,8	6,1	5,4	3,4	6,6
Acides aminés soufrés	3,8	4,3	3,8	2,9	4,5	4,0	5,6
Thréonine	2,8	3,5	3,4	3,9	4,3	3,6	4,6
Tryptophane	1,2	0,75	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2
Arginine	4,6	4,6	4,6	7,2	5,7	7,9	7,3
Isoleucine	3,2	3,2	3,2	4,4	3,9	3,9	4,8
Valine	4,1	4,6	4,7	4,6	5,1	4,8	5,2
Leucine	6,6	12,1	6,8	7,7	7,0	6,4	8,3
Phénylalanine + tyrosine	6,9	8,6	8,0	8,6	6,8	9,0	8,7
Histidine	2,4	3,0	2,4	2,6	2,7	2,5	2,6

* En supposant le besoin en AANI à 45% des acides aminés totaux.

ce que les déficiences de l'une soient compensées par les apports des autres. Le tableau 9 permet de comparer, de ce point de vue, les différentes matières premières disponibles sur le marché en regard d'une valeur moyenne de la protéine « idéale » pour poulet. On y retrouve les déficiences bien connues. Les protéines des céréales sont toutes déficientes en lysine, arginine et isoleucine. De plus celles du maïs sont pauvres en tryptophane et celles du blé pauvres en thréonine. Toutes les protéines des matières premières sont déficientes en acides aminés soufrés et, dans une mesure assez variable, en lysine, isoleucine, valine. Enfin, parmi les défauts, il faut noter l'excès de leucine du maïs (et du gluten) qui, en pratique peut être gênant, d'une part en induisant des déséquilibres avec l'isoleucine et la valine et, d'autre part, en conduisant à un catabolisme azoté systématique. Les seuls acides aminés pour lesquels on trouve au moins une matière première en renfermant une proportion égale ou supérieure à la protéine idéale sont : la leu-

cine, le tryptophane, l'arginine, la phénylalanine et la tyrosine et l'histidine. Si l'on veut, par association de matières premières, reconstituer un mélange de protéines dont le profil en acides aminés soit identique à celui de la protéine idéale, il faut théoriquement avoir recours au minimum à une supplémentation en lysine, acides aminés soufrés, thréonine, isoleucine et valine.

4 / Objectifs raisonnables de réduction des rejets azotés

La bibliographie des dix dernières années nous propose des expériences au cours desquelles on a tenté de réduire les apports protéiques grâce à la supplémentation par des acides aminés produits industriellement. Les données sont significatives pour le poulet de chair. Elles sont nettement moins nombreuses pour la poule pondeuse et les autres espèces.

Si les diverses recommandations concordent pour les AA indispensables, les travaux sur les autres AA demeurent insuffisants pour établir des normes d'apport.

Tableau 10. Influence du taux protéique de l'aliment en finition sur l'excration azotée et l'indice de consommation du poulet de chair (mâle).

Référence	GMQ	Indice partiel (variation par point de protéine)	Excration azotée (g/point de protéine)
Fancher <i>et al</i> 1989	60,5	+ 0,016	- 2,89
Leclercq <i>et al</i> 1995	77,4	+ 0,026	- 2,79
Leclercq 1993	74,5	+ 0,021	- 2,48
Grisoni 1991	66,6	+ 0,015	- 3,18
Moran <i>et al</i> 1992	65,5	+ 0,022	- 2,26
Holsheimer <i>et al</i> 1991	56,1	+ 0,030	- 2,35
Leclercq et Guy 1991	43,4	+ 0,020	- 2,67

4.1 / Poulet de chair

Sept expériences ont été analysées sur des génotypes récents. Notre attention a été portée sur la période de finition (de 21 ou 28 jours à 39 ou 49 jours). Les principaux résultats font l'objet du tableau 10. En moyenne, l'abaissement du taux protéique de 10 g par kg d'aliment (ce qu'on appelle 1 point de protéines) engendre une réduction de rejet d'azote de 2,66 g par kg de gain de poids, mais entraîne une augmentation de l'indice de consommation de 21 g par kg de gain de poids (+ 0,021 point d'indice de consommation). Deux modèles pour poulet mâle ont été utilisés parallèlement pour effectuer une simulation :

Modèle 1 :

- un régime de finition titrant 190 g de protéines brutes par kg, permet un indice partiel (21-40 j) de 1,90 et un gain de poids de 1 450 g, composé de 19,5 % de protéines.

- toute réduction du taux protéique de 10 g/kg (avec maintien du besoin en acides aminés indispensables) augmente l'indice de 0,021, et réduit la teneur en protéine du gain de poids de 0,8 g/kg.

Modèle 2 :

- mêmes hypothèses que dans le Modèle 1 mais la teneur en protéines du gain de poids demeure constante.

L'excration d'azote se déduit des équations :

N excréte (g/kg) = - 30,1 + 3,69 [PB] -

0,0372 [PB]² pour le modèle 1

N excréte (g/kg) = - 31,2 + 3,68 [PB] -

0,0338 [PB]² pour le modèle 2

où [PB] est la teneur en protéines brutes de l'aliment (%).

Les termes quadratiques viennent de ce que la teneur en protéines de l'aliment exerce un effet sur la consommation d'aliment.

Ces deux modèles aboutissent à une réduction moyenne de l'excration d'azote située entre 2,2 et 2,5 g par kg de gain de poids pour toute réduction de teneur en protéines des aliments de 10 g par kg. Cette estimation est proche des valeurs observées.

En reprenant les valeurs moyennes du tableau 1, on peut raisonnablement, avec les acides aminés commercialisés aujourd'hui, espérer passer de 200 à 170 g de protéines

brutes par kg d'aliment finition ; ce qui devrait faire passer le rejet d'azote de 32 g à 25 g par kg de gain en finition, soit 20 % de réduction sur cette période. En contrepartie l'aliment serait consommé en quantité un peu plus importante et risquerait de coûter plus cher.

4.2 / Dindonneau de chair

a / Mâle

La bibliographie récente nous fournit quatre expériences exploitables, c'est-à-dire sans modification de la vitesse de croissance et donnant suffisamment d'informations pour permettre des calculs (analyses des aliments...). Elles sont résumées dans le tableau 11. Entre 8 et 12 semaines tout abaissement de l'apport protéique de 10 g/kg induit en moyenne une réduction des rejets azotés de 2,66 ou 3,03 g/kg de gain de poids (selon que l'on élimine ou que l'on conserve la valeur un peu élevée tirée de Summers *et al* (1989)). Entre 12 et 16 semaines la réduction de rejet azoté par point de protéines brutes (10 g/kg) devient plus intéressante puisque de l'ordre de 5,06 g.

En retenant les éléments de calcul du tableau 1, nous avons recalculé les rejets azotés théoriques par période ; ils figurent dans le tableau 12. Entre 56 et 84 jours, l'approche théorique suggère une réduction de rejet azoté de 3,6 g/kg gain de poids par point de protéines en moins, ce qui est un peu supérieur aux niveaux de 2,66 à 3,03 fournis par les expériences. Entre 84 et 112 jours la réduction calculée du rejet azoté est de 5,4 g/kg gain de poids par point de protéines, soit à peu de choses près ce que fournissent les données expérimentales.

Les progrès possibles sont difficiles à estimer car les expérimentations sont peu nombreuses sur cette espèce. On peut cependant penser qu'avec les acides aminés existants il est envisageable de réduire de 2 à 3 points (20 à 30 g/kg) les teneurs en protéines des aliments entre 56 et 84 jours et entre 84 et 112 jours.

Tableau 11. Influence de la teneur en protéines des aliments de croissance (56-84 jours) et de finition (84-112 jours) sur l'excration d'azote du dindonneau mâle.

Référence (Nb de régimes retenus)	Réduction du rejet d'azote (g/kg gain de poids/ point de protéines)	
	56-84 j	84-112 j
Sell <i>et al</i> 1985 (3)	2,63	4,94
Summers <i>et al</i> 1985 (2)	2,90	5,30
Potter <i>et al</i> 1985 (3)	2,45	4,55
Summers <i>et al</i> 1989 (3)	4,15	5,45
Moyenne	3,03	5,06

Tableau 12. Réductions estimées des rejets azotés (en g N excréte par kg de poids vif final) par l'abaissement des teneurs en protéines brutes des aliments (PB, en g/kg). Les bases de calcul sont celles du tableau 1.

Teneur en PB	Dindonneau mâle ⁽¹⁾ 56-84 j	Dindonneau mâle ⁽¹⁾ 84-112 j	Dindonneau femelle 56-84 j	Teneur en PB ⁽²⁾	Caneton de Barbarie mâle	Teneur en PB ⁽²⁾	Pintadeau de chair
230	47,5	-	48,4	190/180	56,7	230/210	66,6
220	43,8	82,2	46,5	180/170	53,0	220/200	62,9
210	40,2	76,8	44,6	170/160	49,3	210/190	59,3
200	36,6	71,4	42,7	170/150	47,6	200/180	55,7
190	33,0	66,0	40,8	170/140	45,8	190/170	52,1
180	29,3	60,6	-	170/130	44,1	180/160	48,4
170	-	55,2	-	160/150	45,6		
				160/140	43,8		
				160/130	42,1		

(1) Par kg de gain de poids.

(2) Le premier chiffre correspond à la teneur en protéines de l'aliment croissance (28-56 j) et le second à la teneur de l'aliment de finition (56-84 j).

L'effet sur les rejets azotés de l'ensemble de la période de production pourrait donc être de - 8 à - 12 g d'azote par kg de poids vif final, soit 15 à 20 % de réduction par rapport à la situation moyenne actuelle.

b / Femelle

Chez le dindonneau femelle, dont la durée d'élevage est plus courte, seule la simulation par le calcul a été réalisée (tableau 12). Les performances et bases de calcul sont celles du tableau 1. Pour chaque réduction de 1 point de la teneur en protéines brutes de l'aliment de finition (56-84 jours), la baisse est estimée à 1,6 g d'azote excréte par kg de poids vif final ; ceci laisse espérer, par usage plus généralisé des acides aminés industriels, une réduction de l'excration de 3 à 4 g d'azote par kg de poids vif final, soit 10 % de l'excration moyenne actuelle (36,4 g/kg).

4.3 / Canard de Barbarie

Chez le caneton de Barbarie il faut raisonner à la fois sur la période 28-56 jours et la période 56-84 jours ; on doit toutefois retenir que c'est sur cette dernière que les économies sont potentiellement les plus importantes. Nos simulations sont présentées dans le tableau 12. D'après des expérimentations récentes (Baéza et Leclercq 1995, E. Baéza, non publié), il semble possible d'abaisser la teneur en protéines des aliments de finition (grâce à l'emploi de lysine, méthionine, thréonine et tryptophane) à 130 g/kg (pour 3 050 kcal/kg d'énergie métabolisable) sans modification de la vitesse de croissance, de l'indice de consommation et des rendements en filets. La combinaison des teneurs en protéines 170/130 du tableau 12 est donc possible. Par rapport à la situation actuelle (tableau 1) cela correspond à une réduction de 6 g de rejets azotés par kg de poids vif final, soit 11 % de réduction.

4.4 / Pintadeau de chair

Pour le pintadeau de chair, nos calculs s'appuient sur les hypothèses du tableau 1. Par rapport à la situation actuelle, représentée par la ligne 220/200 du tableau 12, il est parfaitement possible techniquement d'abaisser les teneurs en protéines des aliments aux niveaux 190/170, et probablement plus bas encore. L'économie est de 10 g d'azote rejeté par kg de pintadeau produit. Des économies substantielles semblent donc possibles chez cette espèce.

4.5 / Poule pondeuse

Chez la poule pondeuse on dispose de peu d'expériences exploitables pour l'objet de notre présente étude. En effet peu de protocoles, tout au moins parmi ceux qui ont été publiés, portent sur l'emploi des acides aminés industriels en vue de réduire les apports protéiques. En outre certaines expériences ne retiennent que de courtes périodes expérimentales. Deux études récentes, réalisées sur Leghorn, (Calderon *et al* 1990, Jensen *et al* 1990) fournissent des résultats suggérant qu'une baisse de la teneur en protéines de 1 point doit entraîner une réduction des rejets azotés de 43,8 ou 59,4 ou 64,3 g par poule élevée jusqu'à l'âge de 72 semaines. Nos calculs,

Diminuer la teneur en protéines de l'aliment grâce à la supplémentation par des acides aminés industriels permet de diminuer les rejets azotés de 10 à 20 % selon les espèces.

Tableau 13. Conséquences attendues de la réduction de la teneur en protéines brutes de l'aliment (PB, en g/kg) de la poule pondeuse sur les rejets d'azote (hypothèse : les poules pondeuses sont réformées à l'âge de 72 semaines).

Teneur en PB	Azote excréte (g/poule)
180	723
170	661
160	601
150	540
140	478

basés sur les hypothèses du tableau 2 aboutissent aux résultats du tableau 13. On peut en conclure qu'en moyenne l'abaissement de la teneur en protéines de l'aliment induit une réduction de rejets d'azote de 61 g par poule élevée jusqu'à l'âge de 72 semaines. L'emploi généralisé des quatre acides aminés actuellement disponibles sur le marché des additifs à des prix acceptables (lysine, méthionine, thréonine, tryptophane) conduirait à penser qu'il est envisageable de réduire la teneur des aliments à 140 g de protéines brutes par kg, sans modification des performances, soit une économie possible de l'ordre de 180 g d'azote rejeté par poule sur l'ensemble de la période de ponte.

Conclusion

En rapprochant les approches expérimentales, disponibles en nombre encore limité, et les calculs basés sur des modèles théoriques, on peut constater une assez bonne concordance entre les deux approches. Il est possible, en outre, d'estimer les progrès possibles dans le domaine des rejets azotés, spécialement ceux que laisse espérer l'usage plus intensif des acides aminés industriels. Avec les acides aminés commercialisés actuelle-

ment en alimentation animale, on peut, du seul point de vue technique, conclure à une réduction des rejets d'azote de 10 à 20 % du niveau actuel.

Cette mesure a un coût facile à estimer et qui est lié au prix actuel des acides aminés et, surtout, à celui du tourteau de soja, bon marché en ce moment. Réduire les teneurs en protéines des aliments peut avoir aussi des conséquences sur l'efficacité alimentaire et l'adiposité de certaines espèces comme le poulet ; de tels phénomènes semblent faibles, voire inexistant chez d'autres espèces. Enfin l'usage renforcé des acides aminés industriels en vue d'abaisser les apports protéiques peut avoir des conséquences secondaires peu prises en compte pour le moment : 1) la réduction de la consommation d'eau et, donc, un meilleur état des litières, 2) l'adaptation des formules aux ambiances chaudes, 3) la réduction des rejets azotés dans l'éventualité probable de mise en place d'un système de taxation.

Il n'est pas impossible non plus d'imaginer qu'à l'avenir d'autres acides aminés fassent leur apparition en alimentation animale. Ce pourrait être le cas de la valine, de l'isoleucine et de l'arginine. Nos calculs permettraient alors d'évaluer les nouveaux progrès réalisables.

Références bibliographiques

- Baéza E., Leclercq B., 1995. Supplémentation des aliments de finition du caneton de Barbarie par des acides aminés de synthèse. In : 1^{res} Journées de la Recherche Avicole, 18-20.
- Baker D.H., 1994. Ideal amino acid profile for maximal protein accretion and minimal nitrogen excretion in swine and poultry. In : Proceedings Cornell Nutrition Conference, 134-139.
- Bedford M.S., Summers J.D., 1985. Influence of the ratio of essential to non essential amino acids on performance and carcass composition of the broiler chick. *Brit. Poult. Sci.*, 26, 483-491.
- Boorman K., Burgess A.D., 1985. Responses to amino acids. In : Nutrient requirements of poultry and nutritional responses, Butterworths, 99-123.
- Calderon V.M., Jensen L.S., 1990. The requirement for sulfur amino acid by laying hens as influenced by protein concentration. *Poult. Sci.*, 69, 934-944.
- Degussa, 1990. Die Aminosäuren-Zusammensetzung von Futtermitteln. Degussa A.G.
- Fancher B.I., Jensen L.S., 1989. Influence on performances of three to six-week-old broilers of varying protein contents with supplementation of essential amino acid requirements. *Poult. Sci.*, 68, 113-123.
- Geraert P.A., Guillaumin S., Leclercq B., Larbier M., 1986. Utilisation des acides aminés à des fins énergétiques chez les poulets génétiquement maigres ou gras. In : Proceedings of the VII European Conference on Poultry Science, Paris.
- Grisoni M.L., 1991. Rôle des acides aminés alimentaires dans la lipogenèse du poulet de chair. Thèse de docteur de l'Université, Aix-Marseille III. 129 p.
- Han Y., Baker D.H., 1994. Digestible lysine requirement of male and female broiler chicks during the period three to six weeks posthatching. *Poult. Sci.*, 73, 1739-1745.
- 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.
- Leclercq B., 1983. The influence of dietary protein content on the performances of genetically lean or fat growing chickens. *Brit. Poult. Sci.*, 24, 581-587.
- Leclercq B., Guy G., 1991. Further investigations on protein requirement of genetically lean and fat chickens. *Brit. Poult. Sci.*, 32, 789-798.
- Leclercq B., Chagneau A.M., Cochard T., Khoury J., 1994. Comparative responses of genetically lean and fat chickens to lysine, arginine and non-essential amino acid supply. 1 - growth and body composition. *Brit. Poult. Sci.*, 35, 687-696.
- Leclercq B., Pack M., Pinot R., 1995. Possibilités de réduction des apports protéiques chez le poulet de chair en finition grâce à la supplémentation par des acides aminés industriels. In : 1^{res} Journées de la Recherche Avicole. 12-14.

- Moran E.T., 1994. Response of broiler strains differing in body fat to inadequate methionine : live performance and processing yields. *Poult. Sci.*, 73, 1116-1126.
- Moran E.T., Bushong R.D., Bilgili S.F., 1992. Reducing dietary crude protein for broilers while satisfying amino acid requirements by least-cost formulation : live performance, litter composition and yield of fast-food carcass cuts at six weeks. *Poult. Sci.*, 71, 1687-1694.
- Morris T.R., Njuru D.M., 1990. Protein requirement of fast – and slow – growing chicks. *Brit. Poult. Sci.*, 31, 803-809.
- National Research Council, 1984. Nutrient requirements of poultry, 8th edition, National Academic Press, Washington, 71 p.
- National Research Council, 1994. Nutrient requirement of poultry, 9th edition, National Academic Press, Washington, 71 p.
- Pesti G., 1994. Description d'un modèle de formulation permettant un profit maximum en aviculture. In : *Comptes rendus de la conférence avicole WPSA-SIMAVIP*, cahier n° 9, 25-46.
- Potter L.M., Mc Carthy J.P., 1985. Varying fat and protein in diets of growing large white turkeys. *Poult. Sci.*, 64, 1941-1949.
- Rhone-Poullenc Animal Nutrition, 1987. Recommandations pour la nutrition animale, 5^e édition.
- Sauveur B., 1988. Structure et composition de l'œuf. In : *Reproduction des volailles et production d'œufs*, Editions INRA, 358 p.
- Schutte J.B., Van Weerden E.J., Bertram H.L., 1984. Protein and sulphur amino acid nutrition of the hen during the early stage of laying. *Arch. Geflugelk.*, 48, 165-170.
- Sell J.R., Hasiak R.J., Owings W.J., 1985. Independent effects of dietary metabolisable energy and protein concentrations on performance and carcasse characteristics on tom turkeys. *Poult. Sci.*, 64, 1527-1535.
- Summers J.D., Leeson S., Bedford M., Spratt D., 1985. Influence of dietary protein and energy on performance and carcass composition of heavy turkeys. *Poult. Sci.*, 64, 1921-1933.
- Summers J.D., Jackson S., Spratt D., 1989. Weight gain and breast yield of large white male turkeys fed diets varying in protein content. *Poult. Sci.*, 68, 1547-1552.
- Whitehead C.C., 1990. Responses of body composition, growth and food efficiency to dietary protein in genetically lean and fat broilers up to seven weeks of age. *Brit. Poult. Sci.*, 31, 163-172.

Abstract

Nitrogen losses in poultry production

In this review figures concerning nitrogen losses of avian species used in poultry production are proposed. They come either from experimental data or from equations applied to present conditions of poultry production. Ideal amino acid profiles of dietary protein for growing birds or layers are reviewed and compared to amino acid composition of main ingredients. Possible reductions of nitrogen losses by reducing dietary protein concentration, while supplementing by

essential amino acids, are presented. The extensive utilisation of methionine, lysine, threonine and tryptophan, which are now available for animal nutrition, would allow to reduce nitrogen losses between 10 and 20 % of the present situation. Further progress could be performed if valine, isoleucine and arginine were available.

LECLERCQ B., 1996. Les rejets azotés issus de l'aviculture : importance et progrès envisageables. INRA Prod. Anim., 9 (2), 91-101.