HAL
open science

Etude par stimulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines

B. Leclercq, Catherine C. Beaumont

To cite this version:

B. Leclercq, Catherine C. Beaumont. Etude par stimulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. Productions Animales, 2000, 13 (1), pp.47-59. hal-02693926

HAL Id: hal-02693926

https://hal.inrae.fr/hal-02693926

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.,
2000, 13 (1), 47-59

B. LECLERCQ, C. BEAUMONT

INRA, Station de Recherches Avicoles,
37380 Nouzilly

e-mail : beaumont@tours.inra.fr

Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines

Les troupeaux de volailles sont constitués d'individus de niveau génétique variable et sans cesse amélioré par la sélection.
Cette variabilité, ainsi que celle occasionnée par des effets du milieu ou des pathologies, expliquent l'hétérogénéité des besoins individuels en acides aminés et en protéines et, par suite, la forme curvilinéaire des variations de performances des troupeaux en fonction des teneurs des aliments. En conséquence, les recommandations nutritionnelles ne peuvent être définies que sur la base des résultats économiques et dépendent à la fois des génotypes utilisés et du contexte de prix des matières premières.

Résumé

Plusieurs modèles de simulation de réponse aux teneurs des aliments en acides aminés ou protéines, ainsi que d'estimation des besoins sont décrits et appliqués à trois productions : le poulet de chair en croissance, le canard de Barbarie en finition et la poule pondeuse. Ces modèles conduisent à l'estimation de besoins et de performances proches de ce qui est observé expérimentalement. Ils permettent une approche objective du besoin économique, défini comme la teneur permettant de minimiser le coût alimentaire du gain de poids. Il est ainsi possible de prévoir les effets probables de la sélection sur les besoins nutritionnels des espèces considérées. Chez les volailles de chair, la vitesse de croissance influence peu le besoin en acide aminé (exprimé en g par kg d'aliment). Au contraire les lipides corporels sont, avec l'efficacité énergétique d'entretien, l'un des facteurs déterminants ; plus les animaux sont maigres ou efficaces, plus ils exigent des régimes enrichis en acides aminés. Chez la poule pondeuse, ce sont les performances de ponte qui rendent le mieux compte de l'élévation des recommandations. Dans tous les cas, l'optimum économique, teneur en acides aminés de l'aliment permettant de minimiser le coût alimentaire, est très proche de la teneur permettant d'atteindre les performances maximales.

L'aviculture utilise des génotypes sélectionnés sur des critères de plus en plus nombreux et variés. Outre les performances de croissance et de ponte, l'efficacité alimentaire (indice de consommation) et la composition corporelle (rendement en muscles pectoraux, adiposité) sont désormais pris en compte en sélection. Il s'ensuit une évolution permanente et rapide du potentiel génétique des animaux.

Cette complexification de la sélection peut avoir des conséquences sur la nutrition des espèces utilisées. Cela a déjà été démontré chez le poulet de chair pour des lignées expérimentales (Leclercq *et al* 1993 et 1994), mais aussi tout récemment pour des croisements commerciaux (Smith et Pesti 1998). De plus, les variances des performances ainsi que leurs corrélations peuvent également évoluer.

Cet article vise à modéliser la variation des performances en fonction de la teneur en acides aminés ou en protéines de l'aliment. Trois productions sont considérées : le poulet de chair en croissance (20 à 40 jours), le caneton de barbarie en finition (56 à 84 jours) et la poule pondeuse. Ces productions ont été retenues car elles correspondent à des situations différentes. Pour le poulet et le caneton, il s'agit de la période d'élevage au cours de laquelle la consommation d'aliment est la

plus importante. En outre, le poulet et le caneton se distinguent alors par des formes de la courbe de croissance très différentes : phase de vitesse maximale de la croissance pour le poulet, phase de ralentissement prononcé chez le caneton. En revanche, chez la poule pondeuse, la croissance est achevée et les besoins de production concernent la ponte. Nous nous sommes intéressés aux besoins et aux réponses des troupeaux vis-à-vis de certains acides aminés (lysine, acides aminés soufrés, thréonine) pour lesquels on dispose d'informations de base assez solides ; nous avons également considéré les teneurs en protéines dans le cas du poulet de chair.

Contrairement à des études antérieures, telles que celles développées par l'Université de Reading (Fisher et al 1973), la démarche adoptée ici consiste à considérer le besoin non pas en valeur absolue (g d'acide aminé par gramme de gain de poids ou par kg de poids vif…), mais en terme de concentration dans l'aliment. Cette démarche a rarement été tentée ; elle correspond pourtant à la situation dans laquelle se trouve le formulateur en alimentation animale. Peu lui importe le besoin exprimé en valeur absolue. Ce qu'il recherche c'est la concentration des acides aminés ou des protéines à adopter dans les aliments qu'il a à formuler. Celle-ci dépend non seulement du besoin des individus, mais aussi de la consommation d'aliment de chacun d'entre eux. Il s'ensuit que le besoin, exprimé en concentration d'acide aminé ou de protéines dans l'aliment, varie d'un individu à l'autre : il sera appelé " besoin individuel ". Il faut tenir compte de ces besoins individuels pour simuler la réponse des troupeaux aux variations de concentrations de l'acide aminé ou des protéines dans l'aliment. Cela permet d'envisager une estimation économique du besoin, seule façon objective de le définir aujourd'hui. En effet, à partir du moment où l'on a affaire à une " population " de besoins, il importe de déterminer pour quelle proportion d'individus le besoin doit être satisfait de façon à optimiser le coût de la production du troupeau. Le " besoin économique " correspond à la teneur en acides aminés ou en protéines de l'aliment qui permet de minimiser le produit (indice de consommation x prix de l'aliment). L'étude présentée dans cet article repose sur un certain nombre de données nutritionnelles établies de façon suffisamment précise chez le poulet de chair et la poule pondeuse. Des extrapolations ont été faites pour le caneton de Barbarie en adaptant à cette espèce les valeurs de base obtenues chez le poulet. Dans tous les cas, les performances obtenues par simulation ont été confrontées à des valeurs observées au cours d'expérimentations récentes et indépendantes afin de tester la pertinence des hypothèses.

1 / Besoins et simulation de la réponse du poulet de chair pour la lysine

Cette simulation porte sur des poulets mâles âgés de 20 à 40 jours.

1.1 / Hypothèses

Le tableau 1 rassemble les principaux éléments utilisés pour estimer le besoin maximal et les performances de 10 000 individus fictifs, ainsi que les hypothèses de réponse de ceux-ci aux changements de concentration de lysine digestible dans l'aliment. Les variables de base des individus sont issues d'expérimentations récentes réalisées à la Station de Recherches Avicoles de l'INRA. Elles correspondent aux performances maximales observées dans des lots témoins nourris de façon optimale, donc à la pleine expression du potentiel génétique des animaux. Nous avons introduit une variable appelée " efficacité énergétique d'entretien " (EE), qui correspond au contrôle génétique du besoin énergétique d'entretien, tel qu'il a pu être mis en évidence sur des poulets de chair (Pym *et al* 1984) ou sur des poules pondeuses (Geraert *et al* 1991, Gabarrou *et al* 1998). En effet ces expérimentateurs ont montré que des sélections expérimentales portant sur l'efficacité alimentaire conduisaient à une réduction du besoin énergétique d'entretien : de l'ordre de –15 % chez la poule pondeuse (si l'on suppose que la sélection divergente a été symétrique) et de –5 % chez le poulet de chair. Le coefficient EE, affecté au besoin spécifique d'entretien moyen, est donc égal en moyenne à 1 (lignée non sélectionnée). Faute de données expérimentales son écart type a été fixé à 0,05. Les corrélations entre performances maximales des individus sont déduites, par arrondi, des corrélations habituellement estimées entre caractères (Leclercq 1988). La constitution de ce fichier de base comportant 10 000 individus fictifs a été réalisée en simulant, pour chaque individu, ces quatre variables (poids vif initial, gain de poids, teneur en lipides, efficacité énergétique d'entretien) sous Splus (Becker *et al* 1988).

Puis, à partir de ces quatre variables de base, nous avons calculé pour chaque individu son besoin énergétique, donc sa consommation d'aliment, et son besoin en lysine digestible. Le besoin énergétique est la somme des besoins d'entretien et de croissance. Nous avons retenu l'équation récente de B. Carré (communication personnelle) basée sur des mesures réalisées sur un croisement commercial actuel. La teneur en protéines de l'animal est calculée par une régression linéaire à partir de sa teneur en lipides. Cette équation provient de mesures effectuées sur génotypes gras ou maigres (Leclercq *et al* 1994) ; elle est très proche d'autres équations obtenues à partir d'autres données expérimentales (Grisoni 1991). Quant au besoin en lysine pour la croissance, il est basé sur les valeurs de Boorman et Burgess (1985) pour le gain de poids, en supposant que celui-ci est composé de 175 g de protéines par kg de gain, alors que, pour le besoin d'entretien, nous avons retenu les valeurs proposées par Fisher dans l'article de Boorman et Burgess (1985). Enfin nous avons supposé que les différences génétiques affectant l'adiposité, la vitesse de croissance ou l'efficacité nutritionnelle ne modifiaient pas les besoins spécifiques en acides aminés. Il a été ainsi possible de calculer, pour chaque

Tableau 1. *Hypothèses de la simulation de la réponse d'un troupeau de poulets de chair mâles à la teneur en lysine digestible de l'aliment entre les âges de 20 et 40 jours.*

Variables de base des individus (écarts types) :

Poids vif initial à 20 jours (g)	PI	850	(70)
Gain de poids entre 20 et 40 jours (g)	G	1750	(262)
Teneur en lipides (g/g)	Lip	0,170	(0,050)
Efficacité énergétique d'entretien	EE	1	(0,05)

Corrélations entre variables :

	G	Lip	EE
PI	0,5	0	0
G		0,5	0
Lip			-0,5

Variables calculées :

Poids moyen (g)	$PM = PI + (G/2)$
Taille métabolique moyenne	$T = (PM/1000)^{0,75}$
Teneur en protéines	$Prot = 0,225 - (0,27*Lip)$
Energie d'entretien (kcal)	$E_e = 130 * T * EE * 20$
Energie de croissance (kcal)	$E_c = G * ((9.74 * Prot) + (10,47 * Lip))$
Consommation (kg)	$C = (E_e + E_c)/3200$
Lysine pour entretien (g/kg)	$LYS_e = (0,082 * PM * 20) / C$
Lysine pour croissance (g/kg)	$LYS_c = (0,086 * Prot * G) / C$

Pour chaque teneur (x) en lysine de l'aliment inférieure au besoin en lysine ($LYS_e + LYS_c$)

Gain réalisé	$G_x = G ((x - LYS_e) / (LYS_c))$
Poids moyen réalisé	$PM_x = PI + (G_x / 2)$
Taille métabolique réalisée	$T_x = (PM_x / 1000)^{0,75}$
Energie d'entretien	$E_{ex} = 130 * T_x * EE * 20$
Energie de croissance	$E_{cx} = G_x ((9,74 * Prot) + (10,47 * Lip))$
Consommation	$C_x = (E_{ex} + E_{cx}) / 3200$

poulet, le besoin en lysine digestible (g/kg d'aliment), c'est-à-dire la teneur de l'aliment nécessaire pour permettre à chaque poulet d'exprimer son potentiel maximal de croissance. On en a déduit la moyenne et l'écart-type de ces besoins, ainsi que les deux coefficients de Pearson caractéristiques de la distribution obtenue, kurtosis (coefficient d'aplatissement, égal à 3 pour une répartition normale) et skewness (coefficient de symétrie, égal à 0 dans le cas d'une répartition normale) (Dagnelie 1975). On peut également calculer les corrélations entre besoins individuels en lysine et variables de base (performances maximales).

Les réponses des individus et, par conséquent, des troupeaux aux variations de teneur de l'aliment en lysine sont simulées en supposant que, pour chaque poulet et chaque teneur en lysine, le gain de poids réalisé est directement proportionnel au gain maximal multiplié par le rapport (teneur de l'aliment - besoin d'entretien)/besoin de croissance maximal. Bien évidemment, quand le besoin d'un individu est atteint, les concentrations plus élevées de lysine n'exercent plus d'effet sur sa croissance. Pour chaque poulet et chaque teneur en lysine, la consommation d'aliment est calculée comme précédemment en remplaçant le gain maximal par celui rendu possible par la teneur en lysine de l'aliment. On a donc supposé, lors de ces simulations, que la lysine n'exerçait pas d'effet spécifique sur la consommation d'aliment, si ce n'est indirectement par ses effets sur la croissance. En outre, l'hypothèse a aussi été faite

Tableau 2. *Besoins en lysine digestible (g/kg d'aliment) d'un troupeau de poulets mâles entre 20 et 40 jours.*

Besoin des individus :	
Moyenne	8,56
Ecart-type	1,01
Skewness	0,19
Curtosis	3,09
Corrélations entre besoins en lysine et :	
Poids initial	0,060
Gain de poids	-0,331
Lipides	-0,970
Efficacité énergétique	0,450
Corrélations partielles à teneur en lipides donnée :	
Poids initial	0,274
Gain	0,731
Efficacité énergétique	-0,166
Performances maximum	
Gain de poids	1748
Indice de consommation	1,8097
Besoin économique [(1)] :	9,00
Gain moyen/gain maximum	0,977
Indice moyen/indice minimum	1,008
% animaux satisfaits	67
Besoin calculé sur les moyennes des performances :	9,45

[(1)] Prix du régime de base (7 g lysine/kg) = 1,10 F / kg, prix de la lysine = 0,013 F / g.

Tableau 3. *Influence de la vitesse de croissance et des lipides corporels sur le besoin en lysine digestible (g/kg d'aliment).*

	Moyennes des besoins des individus (écarts types)	Calculs sur les moyennes des performances
Vitesse de croissance [1] (g/j)		
77,5	8,30 (0,95)	9,09
87,5	8,55 (1,01)	9,45
97,5	8,80 (1,07)	9,52
Teneur en lipides du gain de poids [2] (g/g)		
0,130	9,59 (0,80)	10,40
0,150	9,06 (0,90)	9,85
0,170	8,56 (1,01)	9,45
0,190	8,10 (1,09)	8,82
0,210	7,66 (1,18)	8,35

[1] La teneur moyenne en lipides du gain de poids est de 0,170 et son écart-type de 0,05.
[2] Le coefficient de variation de la teneur en lipides est maintenu constant (30 %).

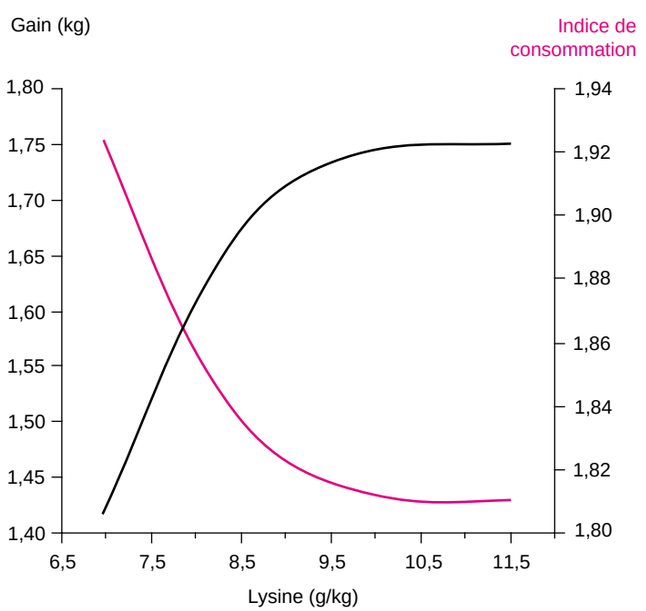
que la teneur en lysine, seule, ne modifiait pas de façon significative l'état d'engraissement des animaux : c'est ce que nous avons constaté à plusieurs reprises récemment avec un croisement commercial, en utilisant le tissu adipeux abdominal comme critère de l'engraissement. Toutefois il est possible d'observer un léger effet de la lysine chez d'autres génotypes (Mack *et al* 1999).

L'évolution des performances de troupeaux avec la teneur en lysine permettent d'estimer le besoin économique, calculé comme la concentration de lysine dans l'aliment minimisant le coût alimentaire du kg de gain. Les hypothèses de prix retenues sont données dans le tableau 2. Enfin nous avons calculé le besoin à partir des moyennes des performances des troupeaux, en appliquant aux équations du besoin énergétique et du besoin en lysine les moyennes des performances maximales. Nous avons également comparé nos résultats à ceux obtenus avec le modèle empirique fréquemment retenu pour les performances (gain de poids, indice de consommation) des troupeaux :

$y = a - (b * e^{-c * x})$

dans lequel y est la performance, x la teneur en acide aminé du régime, a l'asymptote de la performance et b et c des constantes caractérisant la double forme exponentielle de la réponse.

Figure 1. *Evolution, entre les âges de 20 et 40 jours, du gain de poids et de l'indice de consommation d'un troupeau de poulets de chair en fonction de la teneur de l'aliment en lysine digestible (g/kg).*



1.2 / Résultats

Le tableau 2 rassemble les résultats de la simulation basée sur les hypothèses du tableau 1. Vingt-huit teneurs en lysine digestible ont été comparées, comprises entre 7 et 11,5 g/kg. Cette gamme correspond à plusieurs expériences réalisées récemment dans notre laboratoire ; elle encadre largement les besoins individuels.

La moyenne et l'écart type des besoins individuels sont estimés respectivement à 8,56 g/kg et 1,01 g/kg d'aliment. La distribution est très proche de celle observée avec une répartition normale, puisque les 2 coefficients de Pearson sont de 3,09 et 0,19.

Les corrélations entre besoins individuels et performances révèlent tout d'abord un effet très prononcé de la teneur en lipides du gain sur le besoin en lysine (tableau 2) : plus les poulets sont maigres plus ils exigent des aliments riches en lysine (tableau 3). Ce résultat confirme parfaitement des observations indépendantes obtenues sur des lignées expérimentales maigre ou grasse (Leclercq *et al* 1994). Comme la teneur en lipides est corrélée au gain de poids et à l'efficacité énergétique d'entretien, nous avons calculé les corrélations partielles qui indiquent que, pour une teneur en lipides donnée, le besoin en lysine est corrélé positivement avec le gain de poids et négativement avec EE.

La figure 1 illustre les réponses curvilinéaires du gain de poids et de l'indice de consommation aux variations de teneur en lysine digestible de l'aliment. Ces courbes

Tableau 4. *Comparaison des résultats de la simulation du tableau 1 et de la régression curvilinéaire* $y = a - b * e^{-c * x}$

	Simulation du tableau 1	$y = a - b * e^{-c * x}$
Performances maximum Gain de poids Indice de consommation	 1748 1,8097	 1767 (1) 1,8036 (2)
Besoin économique(3) (g/kg d'aliment)	9,00	8,87
Gain réalisé/gain maximum Indice réalisé/indice minimum	0,977 1,008	0,959 1,013

(1) Valeurs des coefficients : a=1767,3 b=140994 c=8,528
(2) Valeurs des coefficients : a=1,8036 b=-53,21 c=8,676
(3) Mêmes conditions de prix que celles du tableau 1.

permettent d'estimer le besoin économique du troupeau. Celui-ci a été calculé en recherchant la concentration de lysine dans l'aliment qui minimise le coût alimentaire du kg de gain. Les hypothèses de prix retenues sont susceptibles de varier avec le contexte économique, ce qui modifierait le besoin. Dans le cas présent (figure 2), le besoin économique est de 9,00 g/kg ; ce qui correspond à 97,7 % de la croissance maximale et de 100,8 % de l'indice de consommation minimal. Pour cette teneur en lysine, les deux tiers des animaux ont leur besoin en lysine satisfait. Cette teneur est très proche de celle observée récemment (Leclercq 1997). Enfin le besoin calculé à partir des moyennes des performances du troupeau est de 9,45 g/kg, c'est-à-dire nettement supérieur à la moyenne des besoins individuels et légèrement supérieur au besoin économique.

Figure 2. *Evolution du coût alimentaire (F/kg) du gain de poids du troupeau de poulets de chair selon la teneur en lysine de l'aliment.*

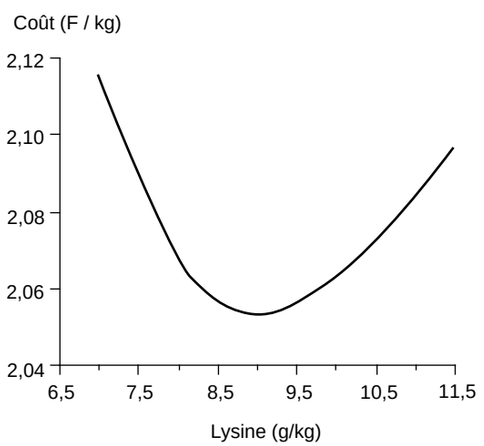
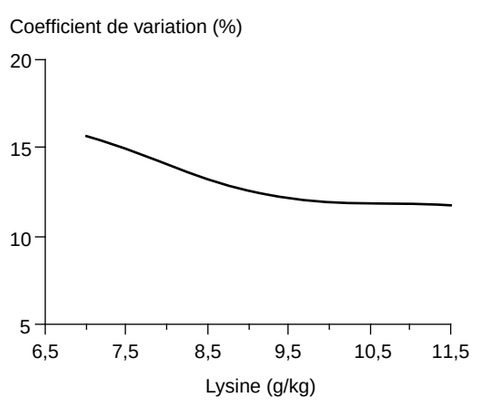


Figure 3. *Evolution du coefficient de variation (%) du poids vif final (à 40 jours) du troupeau de poulets de chair en fonction de la teneur en lysine de l'aliment distribué entre 20 et 40 jours.*



Les résultats sont très proches de ceux obtenus avec l'approche empirique (tableau 4). L'utilisation empirique d'équations exponentielles ne modifie donc guère les conclusions par rapport au modèle nutritionnel du tableau 1. Cependant, cela suppose de disposer de nombreuses observations, en particulier pour estimer avec précision les valeurs des asymptotes.

L'augmentation de la teneur en lysine de l'aliment exerce aussi un effet sur l'homogénéité des poids vifs à l'âge de 40 jours (figure 3). En effet, l'écart type de ce poids vif passe de 352 g pour une teneur en lysine de l'aliment de 7 g/kg, à 306 g pour une teneur de 11,5 g/kg, alors que, parallèlement, le poids vif est passé de 2 268 g à 2 597 g. Le coefficient de variation a donc été réduit de 15,5 % à 11,8 %. La carence en lysine, comme en d'autres acides aminés, induit une hétérogénéité des performances de croissance, ce qui est habituellement constaté (Leclercq *et al* 1994). Au contraire, l'augmentation de la teneur en lysine de l'aliment homogénéise les performances.

2 / Besoins et simulation des réponses du poulet de chair aux variations de teneurs en protéines

Les réponses du poulet de chair aux variations de teneur de l'aliment en protéines digestibles sont un peu plus complexes, dans la mesure où il est très bien établi que la teneur en protéines de l'aliment exerce un effet prononcé sur la composition corporelle (Grisoni 1991). La déficience en protéines

conduit à l'engraissement des animaux. Au contraire un excès de protéines alimentaires réduit l'adiposité.

2.1 / Description du modèle utilisé

Les hypothèses de simulation figurent dans le tableau 5. Nous avons retenu la même démarche et les mêmes données de base que pour la lysine. Nous avons introduit en plus une relation curvilinéaire entre teneur en lipides du gain de poids et teneur en protéines de l'aliment. Celle-ci a été calculée à partir des résultats de la thèse de Grisoni (1991), en ajustant un polynôme du second degré. Le besoin d'entretien pour les protéines est issu des résultats de Kussaibati et Leclercq (1985) obtenus sur coqs adultes. Le besoin en protéines pour la croissance repose sur l'hypothèse d'un équilibre constant entre les proportions d'acides aminés au sein de la protéine et d'un rendement d'utilisation de 60 % (il faut donc 1,67 g de protéines digestibles alimentaires pour un gain net de 1 g de protéines) ; ce qui correspond à une protéine bien équilibrée. L'équation de régression linéaire liant la teneur en protéines et la teneur en lipides du gain de poids a été obtenue à partir des données de Grisoni (1991) ; on pourra constater qu'elle est très proche de celle utilisée dans la simulation précédente. La simulation du tableau 5 a porté sur une gamme de teneur en protéines brutes de l'aliment s'étendant de 180 à 300 g/kg avec des intervalles de 10 g/kg.

2.2 / Résultats (tableau 6)

La moyenne des besoins individuels en protéines est égale à la teneur nécessaire pour atteindre le gain de poids maximal (figure 4). Ce caractère présente une répartition très proche de la normalité. Comme pour la lysine, il est corrélé très négativement avec la teneur en lipides du gain de poids. Les animaux génétiquement maigres exigent donc des régimes plus riches en protéines, ce qui a effectivement été observé sur des lignées expérimentales (Leclercq 1983). De même l'efficacité énergétique d'entretien est corrélée négativement avec le besoin en protéines. Enfin il existe une corrélation positive entre vitesse de croissance et besoin en protéines à même teneur en lipides du gain de poids. Les évolutions relatives du gain de poids et de l'indice de consommation sont présentées dans la figure 4. On peut y observer qu'à mesure que la teneur en protéines s'accroît, l'indice de consommation diminue alors que le gain de poids approche de l'asymptote pour des teneurs en protéines plus faibles. La recherche de la teneur en protéines pour laquelle le produit (indice de consommation x prix de l'aliment) est minimal permet une estimation du besoin économique en fonction des hypothèses de prix du tableau 6. La teneur en protéines correspondant à ce besoin permet de satisfaire les besoins de 86 % des poulets et d'atteindre presque le gain de poids maximal. En revanche l'indice de consommation est alors de 5 % supérieur à l'indice de

Tableau 5. *Hypothèses de la simulation de la réponse d'un troupeau de poulets de chair mâles à la teneur en protéines digestibles de l'aliment entre les âges de 20 et 40 jours.*

Variables de base des individus (écart type) :

Poids vif initial à 20 jours (g)	PI	850	(70)
Gain de poids entre 20 et 40 jours (g)	G	1750	(262)
Teneur en lipides (g/g)	Lip	0,140	(0,050)
Efficacité énergétique d'entretien	EE	1	(0,05)

Corrélations entre variables :

	G	Lip	EE
PI	0,5	0	0
G		0,5	0
Lip			-0,5

Variables calculées :

Poids moyen (g)	PM = PI +(G/2)
Taille métabolique moyenne	$T = (PM/1000)^{0,75}$
Teneur en protéines	Prot = 0,218 – (0,25*Lip)
Energie d'entretien (kCal)	$E_e = 130 * T * EE * 20$
Energie de croissance (kCal)	$E_c = G * ((9.74 * Prot) + (10,47 * Lip))$
Consommation (kg)	$C = (E_e + Ec)/3200$
Protéines pour entretien (g/kg)	$PROT_e = (1,38 * PM * 20) / C$
Protéines pour croissance (g/kg)	$PROT_c = (1,666 * Prot * G) / C$

Pour chaque teneur (x) en protéines de l'aliment inférieure au besoin en protéines ($PROT_e + PROT_c$)

Lipides réels	$Lip_x = Lip * (2,223 – (0,007526 * x) + (0,00001149 * x^2))$
Protéines réelles	$Prot_x = 0,218 – (0,25 * Lip_x)$
Gain réalisé	$G_x = G ((x – PROT_e) / (PROT_c))$
Poids moyen réalisé	$PM_x = PI + (G_x / 2)$
Taille métabolique réalisée	$T_x = (PM_x / 1000)^{0,75}$
Energie d'entretien	$E_{ex} = 130 * T_x * EE * 20$
Energie de croissance	$E_{cx} = G_x ((9,74 * Prot) + (10,47 * Lip))$
Consommation	$C_x = (E_{ex} + E_{cx}) / 3200$

consommation minimal. Ce type de simulation peut permettre de suivre l'évolution du besoin en fonction du cours des matières premières, en particulier du rapport entre le prix du tourteau de soja et celui des céréales. Vraisemblablement plus le prix de la protéine sera élevé, plus le besoin économique tendra à diminuer et vice-versa.

3 / Besoins en lysine, en acides aminés soufrés et en thréonine du caneton de Barbarie

Une démarche identique aux précédentes peut être appliquée à d'autres espèces. Nous l'avons réalisée pour le caneton de Barbarie en finition (56 à 84 jours) pour plusieurs raisons. Pendant cette période l'animal consomme 45 % des quantités d'aliment nécessaires à l'ensemble de sa période de croissance ; il y a donc lieu de disposer d'estimations assez précises de ses besoins nutritionnels. De plus, durant cette période, le caneton présente une vitesse de croissance notablement plus faible, alors que le poids vif initial est déjà élevé ; le rapport entre besoin d'entretien et besoin de croissance augmente par rapport à ce qui peut être observé chez le poulet entre 20 et 40 jours.

Malheureusement on dispose de peu de données de base pour le canard de Barbarie, qu'il s'agisse des besoins énergétiques ou des besoins spécifiques en acides aminés (entretien, croissance), d'où la nécessité de transposer au caneton les valeurs obtenues chez le poulet. Ensuite il faut confronter les résultats obtenus à ceux observés lors d'expérimentations.

3.1 / Hypothèses de simulation

Les hypothèses retenues pour la simulation font l'objet du tableau 7. Nous avons retenu une corrélation négative entre le poids à 56 jours et le gain de poids de 56 à 84 jours ; cette valeur provient d'observations faites récemment à la Station de Recherches avicoles de Nouzilly : plus les animaux sont lourds en début de période de finition, plus faible est leur vitesse de croissance pendant cette période. Comme pour le poulet, on a retenu une corrélation positive entre gain de poids et teneur en lipides du gain de poids. En effet chez le canard de Barbarie (B. Leclercq, non publié), comme chez la plupart des espèces avicoles, les individus à croissance rapide ont tendance à être les plus gras. Pour le reste des variables ou équations de réponse, nous avons retenu les hypothèses utilisées pour le poulet de chair. La gamme de variation de la teneur en acide aminé s'étendait de 3 à 6,5 g/kg pour la lysine digestible, de 2 à 4 g/kg pour les acides aminés soufrés et de 1,2 à 2,8 g/kg pour la thréonine.

3.2 / Résultats

Les résultats de la simulation figurent dans le tableau 8 pour la lysine. Le besoin suit une répartition très proche de la normalité. Les performances maximales, en particulier l'indice de consommation, prédites par le modèle sont proches de ce que l'on observe expérimentalement. En effet, de 56 à 84 jours, l'indice de consommation était en moyenne de 4,99 dans les lots témoins des expériences 5 et 6 de Baeza et Leclercq (1998), alors que la simulation suggère la valeur asymptotique de 4,60. La teneur en lipides est corrélée négative-

Tableau 6. *Besoins en protéines digestibles (g/kg d'aliment) d'un troupeau de poulets mâles entre 20 et 40 jours.*

Besoin des individus :	
Moyenne	178,0
Ecart-type	20,5
Skewness	0,26
Curtosis	3,13
Corrélations entre besoins en lysine et :	
Poids initial	0,056
Gain de poids	-0,327
Lipides	-0,965
Efficacité énergétique	0,438
Corrélations partielles sous la teneur en lipides :	
Poids initial	0,214
Gain	0,685
Efficacité énergétique	-0,196
Performances maximum	
Gain de poids	1752
Indice de consommation	1,7229
Besoin économique [1] :	200,0
Gain moyen/gain maximum	0,992
Indice moyen/indice minimum	1,045
% animaux satisfaits	86

[1] Prix du régime de base (180 g protéines/kg) = 1,07 F / kg, prix de 10 g de protéines = 0,0085 F / g.

Figure 4. *Effets de la teneur en protéines de l'aliment sur le gain de poids et l'indice de consommation d'un troupeau de poulets de chair entre les âges de 20 et 40 jours.*

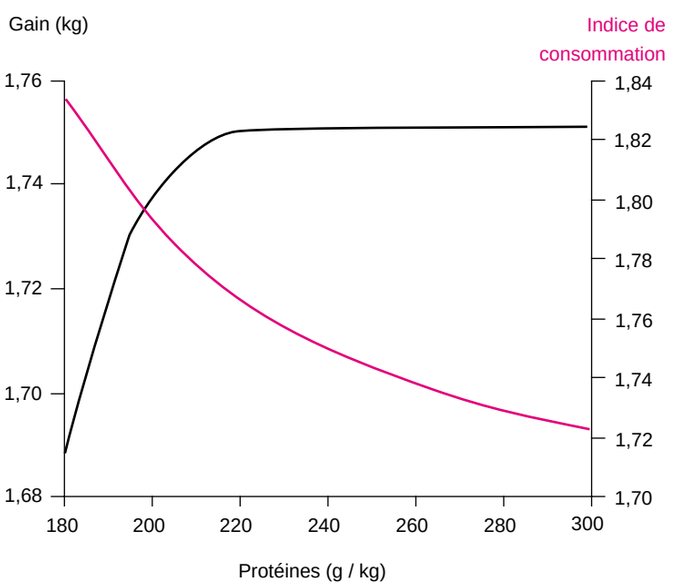


Tableau 7. *Hypothèses de la simulation de la réponse d'un troupeau de canetons de Barbarie mâles à la teneur en lysine digestible de l'aliment entre les âges de 56 et 84 jours.*

Variables de base des individus (écarts types) :

Poids vif initial à 56 jours (g)	PI	3800	(230)
Gain de poids entre 56 et 84 jours (g)	G	1100	(250)
Teneur en lipides (g/g)	Lip	0,200	(0,050)
Efficacité énergétique d'entretien	EE	1	(0,05)

Corrélations entre variables :

	G	Lip	EE
PI	-0,3	0	0
G		0,5	0
Lip			0

Variables calculées :

Poids moyen (g)	PM = PI +(G/2)
Taille métabolique moyenne	$T = (PM/1000)^{0,75}$
Teneur en protéines	Prot = 0,218 – (0,25*Lip)
Energie d'entretien (kCal)	$E_e = 130 * T * EE * 28$
Energie de croissance (kCal)	$E_c = G * ((9.74 * Prot) + (10,47 * Lip))$
Consommation (kg)	$C = (E_e + E_c)/3200$
Lysine pour entretien (g/kg)	$LYS_e = (0,82 * PM * 28) / C$
Lysine pour croissance (g/kg)	$LYS_c = (0,086 * Prot * G) / C$

Pour chaque teneur (x) en lysine de l'aliment inférieure au besoin en lysine ($LYS_e + LYS_c$)

Gain réalisé	$G_x = G ((x – LYS_e) / (LYS_c))$
Poids moyen réalisé	$PM_x = PI + (G_x / 2)$
Taille métabolique réalisée	$T_x = (PM_x / 1000)^{0,75}$
Energie d'entretien	$E_{ex} = 130 * T_x * EE * 20$
Energie de croissance	$E_{cx} = G_x ((9,74 * Prot) + (10,47 * Lip))$
Consommation	$C_x = (E_{ex} + E_{cx}) / 3200$

Tableau 8. *Besoins en lysine digestible (g/kg d'aliment) d'un troupeau de canetons de Barbarie mâles entre 56 et 84 jours.*

Besoin des individus :	
Moyenne	3,58
Ecart-type	0,49
Skewness	0,07
Curtosis	3,36
Corrélations entre besoins en lysine et :	
Poids initial	-0,471
Gain de poids	0,588
Lipides	-0,302
Efficacité énergétique	-0,301
Corrélations partielles sous la teneur en lipides :	
Poids initial	-0,494
Gain	0,895
Efficacité énergétique	-0,316
Performances maximum	
Gain de poids	1097
Indice de consommation	4,604
Besoin économique[1] :	4,45
Gain moyen/gain maximum	0,993
Indice moyen/indice minimum	1,003
% animaux satisfaits	96
Besoin calculé sur les moyennes des performances :	5,27

[1] Prix du régime de base (7 g lysine/kg) = 1,10 F / kg, prix de la lysine = 0,013 F / g.

ment avec le besoin en lysine (g/kg d'aliment) ; toutefois la valeur du coefficient de corrélation est très modérée (r=-0,30). C'est le gain de poids qui est le mieux corrélé positivement avec le besoin en lysine. Le besoin économique correspond à des performances extrêmement proches du potentiel maximal du troupeau. Pour cette teneur en lysine, 96 % des individus ont leur besoin en lysine satisfait. Cette teneur de 4,45 g/kg est en parfait accord avec des observations expérimentales récentes (Baeza et Leclercq 1998). Il faut aussi remarquer que, si l'on calcule le besoin en lysine sur les moyennes de performances du troupeau, le résultat est plus élevé que le besoin économique.

Des simulations identiques ont été réalisées pour les acides aminés soufrés et la thréonine (tableau 9). Les hypothèses sont les mêmes que celles retenues pour la lysine, si ce n'est que les besoins d'entretien et de croissance sont différents (voir tableaux 8 et 9). Pour ces acides aminés limitants secondaires, les conclusions sont semblables à celles obtenues pour la lysine. Les besoins économiques de 3,25 g/kg pour les acides aminés soufrés et de 2,30 g/kg pour la thréonine concordent très bien avec les observations expérimentales de Baeza et Leclercq (1998).

Tableau 9. *Besoins (g/kg d'aliment) en acides aminés soufrés et en thréonine digestibles d'un troupeau de canetons de Barbarie mâles entre 56 et 84 jours.*
Les besoins d'entretien retenus ont été de 60 mg/kg poids vif par jour pour les acides aminés soufrés et 40 mg par kg de poids vif et par jour pour la thréonine. Les besoins respectifs de croissance ont été de 64 mg et de 44 mg par g de protéines.

	Acides aminés soufrés	Thréonine
Besoin des individus :		
Moyenne	2,65	1,82
Ecart-type	0,36	0,23
Skewness	0,01	0,25
Curtosis	3,36	3,02
Corrélations entre besoins et :		
Poids initial	-0,462	-0,448
Gain de poids	0,601	0,554
Lipides	-0,287	-0,363
Efficacité énergétique	-0,308	-0,301
Corrélations partielles sous la teneur en lipides :		
Poids initial	-0,482	-0,481
Gain	0,898	0,912
Efficacité énergétique	-0,321	-0,323
Performances maximum		
Gain de poids	1098	1111
Indice de consommation	4,598	4,565
Besoin économique[1] :	3,25	2,30
Gain moyen/gain maximum	0,993	0,998
Indice moyen/indice minimum	1,003	1,001
% animaux satisfaits	95	98
Besoin calculé sur les moyennes des performances :	3,84	2,61

[1] Hypothèses de prix : aliment de base (2 g d'acides aminés soufrés et 1,6 g de thréonine par kg) = 1,10 F / kg, méthionine = 13 F / kg, thréonine = 15 F / kg.

4 / Besoins de la poule pondeuse en acides aminés

Le même type de simulation a été utilisé pour étudier les besoins de troupeaux de poules pondeuses et simuler leurs réponses aux variations de teneurs de l'aliment en acides aminés. La performance à favoriser est alors la quantité d'œuf produite par jour (taux de ponte x poids de l'œuf).

4.1 / Hypothèses de simulation

La démarche est assez proche des précédentes. On a constitué un troupeau fictif de 10 000 poules présentant quatre caractéristiques de base (performances maximales) définies par leurs moyennes, leurs écarts types et les corrélations qui les lient. Ces valeurs font l'objet du tableau 10 ; elles sont tirées d'observations réalisées récemment sur la pondeuse ISA-Brown, la pondeuse à œufs bruns la plus utilisée dans le monde. On en a déduit, pour chaque individu, le besoin énergétique, la consommation d'aliment et les besoins en acides aminés. Pour le besoin énergétique d'entretien, nous avons retenu la valeur moyenne donnée par Balnave *et al* (1978). L'efficacité énergétique d'entretien (EE) a été fixée arbitrairement à 0,9, valeur plus faible que précédemment puisque l'on sait que la pondeuse ISA-Brown est sélectionnée depuis des générations sur l'efficacité alimentaire. Les coefficients de besoins énergétiques pour la ponte sont tirés d'une expérimentation sur poules reproductrices (Leclercq *et al* 1985). Les besoins spécifiques en acides aminés pour l'entretien et pour la ponte sont ceux proposés par Fisher (1994).

La teneur en lysine digestible de l'aliment a varié de 4 à 7,6 g/kg et celle de la méthionine de 1,5 à 3,6 g/kg. Pour chaque teneur de l'aliment en acide aminé et pour chaque individu, on a calculé la quantité d'œuf produite en supposant qu'elle était égale à la performance maximale multipliée par le rapport (teneur de l'aliment – besoin d'entretien)/besoin de production d'œuf.

4.2 / Résultats de la simulation

Les moyennes et les écarts types des besoins en lysine et méthionine sont présentés dans le tableau 11. Une fois encore on peut remarquer que l'on a affaire à des répartitions très proches de la normalité. Les performances maximales prédites sont semblables à celles observées et présentées dans l'étude bibliographique récente de Joly et Bougon (1999), ce qui soutient la pertinence

Tableau 10. *Hypothèses de la simulation de la réponse d'un troupeau de poules pondeuses à la teneur en lysine digestible de l'aliment (g/kg).*

Variables de base des individus (écarts types) :

Poids vif initial (g)	PI	1550	(120)
Gain de poids (g/j)	G	1	(0,5)
Masse d'oeuf (g/j)	OE	58	(7)
Efficacité énergétique d'entretien	EE	0,9	(0,05)

Corrélations entre variables :

	G	OE	EE
PI	0	0	0
G		0	- 0,5
OE			0

Variables calculées :

Poids moyen (g)	PM = PI +(G/2)
Taille métabolique moyenne	$T = (PM/1000)^{0,75}$
Energie d'entretien (kCal)	$E_e = 136 * T * EE$
Energie de production (kCal)	$E_p = (2,35 * OE) + (5,5 * G)$
Consommation (kg)	$C = (E_e + E_c)/2800$
Lysine pour entretien (mg/kg)	$LYS_e = (66.8 * PM) / C$
Lysine pour production (mg/kg)	$LYS_p = (9,2 * OE) / C$

Pour chaque teneur (x) en lysine de l'aliment inférieure au besoin en lysine ($LYS_e + LYS_p$)

Ponte réalisée	$OE_x = OE ((x - LYS_e) / (LYS_p))$
Energie d'entretien	$E_{ex} = 136 * T * EE$
Energie de production	$E_{px} = OE_x * 2,35$
Consommation	$C_x = (E_{ex} + E_{px}) / 2800$

Tableau 11. *Besoins (g/kg d'aliment) en lysine et méthionine digestibles d'un troupeau de poules pondeuses.*

	Lysine	Méthionine [1]
Besoin des individus :		
Moyenne	5,72	2,68
Ecart-type	0,35	0,17
Skewness	-0,09	-0,15
Curtosis	3,05	2,93
Corrélations entre besoins en lysine et :		
Poids vif	-0,298	-0,344
Masse oeuf	0,792	0,797
Gain de poids	-0,148	-0,125
Efficacité énergétique	-0,505	-0,486
Performances maximum		
Masse d'œuf (g/j)	57,98	58,03
Indice de consommation	1,919	1,919
Besoin économique[2] :	6,20	3,00
Performance moyenne/maximum	0,997	0,999
Indice moyen/indice minimum	1,002	1,000
% animaux satisfaits	92	97
Besoin calculé sur les moyennes des performances :	5,72	2,68

[1] Hypothèses de besoins en méthionine: entretien = 28,2 mg/kg de poids vif /j ; ponte 4,39 mg /g œuf.

[2] Hypothèses de prix : aliment de base (4 g de lysine et 1,5 g de méthionine par kg) = 1,10 F / kg, méthionine = 13 F / kg, lysine = 13 F / kg.

du modèle utilisé. Les corrélations entre les besoins individuels en acides aminés et les performances maximales révèlent que les facteurs les mieux corrélés sont la quantité d'œuf produite, l'efficacité énergétique d'entretien et le poids vif. Plus la quantité d'œuf produite est importante, plus l'animal est léger et plus il manifeste une bonne efficacité énergétique, plus l'aliment doit être riche en acides aminés.

Le besoin économique a été calculé de façon à minimiser le coût alimentaire du kg d'œuf, selon les conditions de prix figurant dans le tableau 11. On obtient des valeurs très proches de celles proposées par Joly et Bougon (1999). Elles correspondent pour la lysine et la méthionine à un taux de satisfaction des besoins des individus très élevé (plus de 90 %). Enfin il est à noter que, du fait des équations de prédiction retenues pour la poule pondeuse, contrairement aux deux volailles de chair étudiées précédemment, les besoins calculés sur les performances moyennes du troupeau sont inférieures aux besoins économiques et égales aux moyennes des besoins individuels.

Discussion et conclusion

Les simulations présentées ci-dessus sont basées sur des performances observées récemment en station expérimentale sur des lots témoins, pour lesquels on peut supposer que les besoins de tous les individus sont couverts et qu'aucune autre cause d'hétérogénéité (en particulier d'ordre pathologique) ne vient perturber de façon significative l'expression des potentiels génétiques. Les corrélations entre performances maximales sont également déduites des moyennes des valeurs observées. La seule variable pour laquelle demeure une incertitude est EE, l'efficacité énergétique d'entretien. Certes on sait que chez le jeune en croissance (Pym *et al* 1984), comme chez l'adulte (Gabarrou *et al* 1998), il doit exister une variabilité génétique du besoin énergétique d'entretien, puisque des lignées expérimentales ont pu être sélectionnées sur ce critère (Bordas *et al* 1992). Cependant on connaît mal la variabilité du paramètre, du fait des difficultés de mesure. De plus, comme pour les autres variables, on a supposé une répartition normale, ce qui n'a jamais été démontré. Les simulations sont également basées sur des valeurs spécifiques (g/kg de poids vif, g par kg de gain de protéines…) des besoins en énergie et en acides aminés, relativement fiables en ce qui concerne le poulet de chair. En revanche il reste une certaine incertitude à propos du besoin d'entretien en acides aminés qui demeure difficile à estimer. Quoi qu'il en soit, à partir de ces deux types de données expérimentales il a été possible de calculer des besoins, des performances maximales et des réponses de performances aux teneurs de l'aliment, qui sont extrêmement proches de ce qui est observé expérimentalement sur des échantillons indépendants de ceux utilisés pour le calcul des paramètres du modèle. Les modèles retenus présentent donc une pertinence certaine.

Ces simulations permettent d'évaluer les effets sur le besoin en acides aminés et la réponse aux variations de teneur de l'aliment des caractéristiques des animaux constituant les troupeaux ; celles-ci sont en grande partie d'ordre génétique. Chez le poulet il s'avère que l'état d'engraissement est le caractère exerçant l'effet le plus prononcé, ce qui confirme les observations expérimentales (Leclercq *et al* 1993 et 1994). La vitesse de croissance tend, elle aussi, à entraîner une augmentation du besoin exprimé en concentration dans l'aliment (g/kg). Toutefois, comme la vitesse de croissance est corrélée positivement avec l'engraissement, il est probable que cet effet de la vitesse de croissance sur le besoin soit en réalité partiellement masqué. Cela expliquerait pourquoi certains auteurs estiment que la vitesse de croissance du poulet influence très peu son besoin en lysine (Han et Baker 1993). L'efficacité énergétique d'entretien, caractère encore mal connu, exerce aussi un effet significatif. Elle tend à impliquer une augmentation de la teneur de l'aliment en acide aminé. On constate également, quelle que soit l'espèce, que plus la teneur en acide aminé de l'aliment augmente, plus les performances sont homogènes. De nombreuses observations confirment cette conclusion.

Chez le caneton de Barbarie en finition, les conclusions précédentes sont à nuancer. C'est plutôt la forme de la courbe de croissance qui influence le besoin. En effet celui-ci est corrélé positivement avec le gain de poids, et négativement avec le poids vif à l'âge de 56 jours. De ce fait les animaux ayant atteint un poids important à 56 jours et ne présentant ensuite qu'une croissance modérée sont ceux qui se satisfont des régimes les moins riches en acides aminés.

L'ensemble des observations précédentes suggère que les besoins nutritionnels dépendent des génotypes et, en particulier, du potentiel de croissance, de l'adiposité et de l'efficacité alimentaire. Il s'ensuit que, pour une bonne expression du potentiel génétique, il faut placer tous les individus dans un milieu nutritionnel favorable. En particulier, les génotypes maigres ou efficaces doivent recevoir des régimes riches en acides aminés. Inversement, les animaux présentant un génotype performant pour l'un de ces caractères seront plus sensibles à la teneur en acides aminés ou en protéines de l'aliment. Placer des descendants de chaque famille dans deux milieux nutritionnels différents : l'un déficient, l'autre largement en excès, pourrait permettre de repérer les familles les plus sensibles aux différences de milieu et, par suite, de réaliser une sélection indirecte sur ces caractères.

Nos simulations permettent aussi une approche économique du besoin. En effet elles confirment que les réponses des performances des troupeaux aux variations de teneur de l'aliment en protéines ou acides aminés ne suivent pas un " modèle linéaire à plateau " (modèle " broken line " des anglo-saxons) (Leclercq 1997), mais, au contraire, des modèles curvilinéaires. Cette curvilinéarité trouve son origine dans l'hétérogénéité des

individus, donc de leurs besoins. La seule façon objective de définir le besoin d'un troupeau repose, en définitive, sur l'approche économique. Le besoin économique dépend donc à la fois du potentiel génétique des animaux, de leur hétérogénéité et du cours des matières premières, en particulier de celui des protéines et des acides aminés. Nos résultats sont difficilement comparables aux caractéristiques des aliments commerciaux. En effet des marges de sécurité sont souvent prises par les fabricants d'aliments composés pour tenir compte de la variabilité des matières premières et de celle induite par les traitements technologiques.

La proportion exacte d'individus dont il faut couvrir le besoin semble dépendre du type de production et, bien évidemment, du cours des matières premières. Nous n'avons pas développé ce dernier aspect, mais les modèles présentés ici peuvent y concourir. Quant au type de production, on peut remarquer que, pour le poulet de chair, la proportion d'animaux dont il faut satisfaire les besoins est inférieure à celle trouvée pour le canard ou pour la poule pondeuse. Enfin il faut noter que le besoin calculé sur les performances moyennes du troupeau est souvent supérieur aux deux autres besoins (besoin moyen et besoin économique). Chez le poulet de chair, le besoin en lysine calculé sur les performances moyennes est supérieur aux deux autres besoins. Il en est de même pour le canard de Barbarie. En revanche pour la poule pondeuse, le besoin calculé sur les performances moyennes correspond exactement à la moyenne des besoins des individus, le besoin économique étant plus élevé. Dans tous les cas, les performances atteintes pour la teneur correspondant au besoin économique sont proches des performances maximales.

Si les simulations présentées ci-dessus paraissent efficaces pour prédire les besoins et réponses nutritionnelles, elles ne concernent que certaines performances : la vitesse de croissance, la ponte et l'efficacité alimentaire. Or les filières avicoles prennent de plus en plus en considération les qualités de carcasse, en particulier le rendement en muscles pectoraux qui peut être significativement influencé par les apports d'acides aminés et de protéines. Il y aurait donc lieu de poursuivre cette démarche pour l'appliquer à ces critères de production. Mais cela implique au préalable d'acquérir les éléments nécessaires à la construction de modèles de simulation fiables. De même, il serait intéressant de suivre l'évolution des besoins avec l'âge des animaux.

Références

Baeza E., Leclercq B., 1998. Use of industrial amino acids to allow low protein concentrations in finishing diets for growing Muscovy ducks. Br. Poult. Sci., 39, 90-96.

Balnave D., Farrell D.J., Cumming R.B., 1978. The minimum metabolisable energy requirement of laying hens. World Poult. Sci. J., 34, 149-154.

Becker R.A., Chambers J.M., Wilks A.R., 1988. The new S language. Wadsworth and Brooks-Cole, California.

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

Bordas A., Tixier-Boichard M., Mérat P., 1992. Direct and correlated responses to divergent selection for residual food intake in Rhode Island laying hens. Br. Poult. Sci., 23, 741-754.

Dagnélie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2. Les Presses agronomiques de Gembloux.

Fisher C., 1994. Responses of laying hens to amino acids. In : Amino acids in farm animal production, 245-280. CAB International, UK.

Fisher C., Morris T.R., Jennings R.C., 1973. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. Br. Poult. Sci., 14, 469-484.

Gabarrou J.F., Geraert P.A., François N., Guillaumin S., Picard M., Bordas A., 1998. Energy balance of laying hens selected on residual food consumption. Br. Poult. Sci., 39, 79-89.

Geraert P.A., Guillaumin S., Bordas A., Mérat P., 1991. Evidence of a genetic control of diet induced thermogenesis in poultry. In : Proceedings of the 12th Symposium of energy metabolism of farm animals, 380-383. EAAP.

Grisoni M.L., 1991. Rôle des acides aminés alimentaires dans la lipogenèse du poulet de chair. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille.

Han Y., Baker D.H., 1993. Effect of sex, heat stress, body weight and genetic strain on the lysine requirement of broiler chicks. Poult. Sci., 72, 701-708.

Joly P., Bougon M., 1999. Influence de la teneur en protéines et en acides aminés essentiels des aliments sur les performances des pondeuses. In : Compte-rendus des 3èmes Journées de la Recherche Avicole, 153-156. ITAVI, Paris.

Kussaibati R., Leclercq B., 1985. A simplified rapid method for the determination of apparent and true metabolisable energy values of poultry feed. Arch. Geflugelk., 49, 54-62.

Leclercq B., 1983. Influence of dietary protein content on the performance of genetically lean or fat growing chickens. Br. Poult. Sci., 24, 581-587.

Leclercq B., 1988. Genetic selection of meat-type chicken for high or low abdominal fat content. In : Leanness in domestic birds, 25-40. Butterworths, UK.

Leclercq B., 1997. Specific effect of lysine on broiler production : comparison with threonine and valine. Poult. Sci., 72, 701-708.

Leclercq B., Kouassi-Kouakou J., Simon J., 1985. Laying hen performances, egg composition and glucose tolerance of genetically lean or fat meat-type breeders. Poult. Sci., 64, 1609-1616.

Leclercq B., Cochard T., Chagneau A.M., Hamzaoui S., Larbier M., 1993. Comparative utilisation of sulphur-containing amino acids by genetically lean or fat chickens. Br. Poult. Sci., 34, 383-391.

Leclercq B., Chagneau A.M., Cochard T., Khoury J., 1994. Comparative responses of lean and fat chickens to lysine, arginine and non-essential amino acid supply. Br. Poult. Sci., 35, 687-696.

Mack S., Bercovici D., DeGroote G., Leclercq B., Lippens M., Pack M., Schutte J.B., VanCauwenberghe S., 1999. Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. Br. Poult. Sci., 25, 529-539.

Pym R.A.E., Nicholls P.J., Thomson E., Choice A., Farrelle D.J., 1984. Energy and nitrogen metabolism of broilers selected over ten generations for increased growth rate, food consumption and conversion of food to gain. Br. Poult. Sci., 25, 529-539.

Smith E.R., Pesti G.M., 1998. Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broiler. Poult. Sci., 77, 276-281.

Abstract

Simulating responses of flocks of broiler chickens, muscovy ducklings and laying hens to varying dietary concentrations of amino acids or crude protein.

Four models were developed to assess nutritional requirements and performance responses of broiler chicken flocks, muscovy duckling flocks and layers flocks to varying dietary concentrations of amino acids or proteins. The models were based on individual estimations of requirements expressed as amino acid or protein concentration of the diets (g/kg). Requirement distributions were very close to normal. All nutritional responses of flocks were curvilinear. The models allow to assess the effects of genetic characteristics of individuals (growth rate, fatness, energy efficiency) on nutritional requirements. Lastly, these models led to an economical approach of nutritional requirements. In growing birds, growth rate has a very limited effect on amino acid requirement expressed as dietary concentration. On the contrary, body lipids and efficiency of energy utilisation for maintenance have a pronounced effect on these requirements ; lean or efficient birds require diets concentrated in these nutrients. In laying hen, egg mass is the main factor explaining amino acid requirements. Body weight and efficiency of energy requirements for maintenance also have significant, but less pronounced effects.

LECLERCQ B., BEAUMONT C., 2000. Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. INRA Prod. Anim., 13, 47-59.