

LE ROLE DES PROTÉINES DANS L'UTILISATION DES ALIMENTS DE POUSSIN

III. — EFFETS DU TAUX PROTIDIQUE SUR L'INDICE DE CONSOMMATION

J. GUILLAUME

avec la collaboration technique de Liliane ROBIN et M. HANTUTE

*Station de Recherches avicoles,
Centre national de Recherches zootechniques, 78 - Jouy-en-Josas*

SOMMAIRE

Pendant trois semaines nous avons nourri des poussins âgés de 28 jours au départ et élevés en cages individuelles. Les aliments isoénergétiques avaient un taux protidique variable mais contenaient des protéines de qualité toujours constante. Il est possible de relier la consommation d'aliment au gain de poids et à l'entretien par l'équation d'ARNOULD (1961). Le besoin d'entretien ainsi défini est, pour un lot donné, proportionnel au poids vif. Il est indépendant de la teneur en protéine de l'aliment sauf, peut-être, quand elle est très faible.

On note aussi des variations individuelles déjà connues : à l'intérieur d'un même lot les individus les plus petits ont, proportionnellement à leur poids, un besoin d'entretien plus élevé. Si l'on déduit la part de l'aliment servant à l'entretien, l'appétit de la part restante à assurer la croissance est fonction du seul taux protidique : elle est améliorée régulièrement par celui-ci puis plafonne au-delà de 21 p. 100 de M.A.T.

Les régimes très concentrés en protéines ont en outre un effet dépressif sur la consommation, ce qui se traduit par un accroissement de la proportion de nutriments servant à l'entretien. L'indice de consommation apparaît comme une résultante de ces deux effets opposés du taux azoté. Pour un aliment donné il varie aussi d'un individu à l'autre par suite des différences d'appétit et de besoin d'entretien par unité de poids corporel.

Pour mesurer l'efficacité d'un aliment pour la croissance on a l'habitude de rapporter la quantité de matières consommées par les animaux à leur gain de poids. Le nombre obtenu, indice de consommation ou taux de conversion, a une signification nutritionnelle très discutable (FÉVRIER, 1952) ; par contre, il présente un grand intérêt sur le plan pratique où l'on cherche sans cesse à l'abaisser.

Chez le Poussin on a beaucoup insisté sur l'action du taux énergétique sur cet indice : l'emploi des aliments « hautement énergétiques » est une conséquence directe de ces recherches. Mais de nombreux autres facteurs alimentaires en modifient la valeur : tout déséquilibre nutritionnel (carence vitaminiq. ou minérale, défaut ou excès d'acides aminés, etc.) la détériore alors que certaines substances telles que les arsenicaux, les antibiotiques ont la propriété de l'améliorer. A cela il faudrait

ajouter les facteurs de milieu (température) ou proprement liés à l'animal (âge, sexe, génotype) qui influencent également cet indice.

Le mécanisme par lequel ces facteurs retentissent sur l'indice de consommation n'est pas toujours identique : certains, comme les arsenicaux abaissent le besoin d'entretien en diminuant le métabolisme de l'animal (SIBBALD et SLINGER, 1963), d'autres comme le rapport Calories/protéines agissent sur le besoin de croissance en modifiant les proportions de tissus protéiques et lipidiques synthétisés au cours de la croissance (DONALDSON et *al.* 1955).

Mais il faut remarquer que *tous* les facteurs que nous venons de citer ont un trait commun : ils augmentent la vitesse de croissance. Or plus un animal croît rapidement, plus la part de l'entretien dans ses besoins globaux est faible et meilleur est l'indice de consommation (FÉVRIER, 1952).

Cette vitesse à elle seule explique-t-elle tous les effets des facteurs que nous venons de citer sur l'indice de consommation ?

Le but de notre étude est de dissocier l'effet du taux protéique sur l'indice de consommation en 2 composantes : action sur le besoin d'entretien et action sur la quantité d'aliments nécessaire à la croissance seule.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Nous avons décrit antérieurement les conditions de cette expérience (GUILLAUME et *al.*, 1965).

Rappelons que nous disposions de deux séries de lots expérimentaux de 15 poussins élevés en cages individuelles. Nous ne considérons ici que la série des lots qui recevaient des aliments complets dont le taux protéique passait de 6 à 38 p. 100 (lots M) : tous les aliments avaient la même valeur énergétique exprimée en Calories métabolisables et calculée à l'aide des tables usuelles.

RÉSULTATS

1. Valeurs moyennes du besoin d'entretien et de l' « indice de consommation de croissance »

Nous avons utilisé l'équation d'ARNOULD (1961) pour estimer les besoins de l'animal. Selon cet auteur on peut relier l'ingestion journalière I en grammes d'aliment au poids P en g et au gain de poids ΔP en g de l'animal par la formule :

$$I = aP + b \Delta P \quad (1)$$

ou

$$\frac{I}{P} = a + b \frac{\Delta P}{P} \quad (2)$$

Mise sous la forme (2) cette équation est particulièrement commode car $\frac{\Delta P}{P}$ n'est autre que le taux de croissance, a représente le besoin d'entretien par unité de poids et b la quantité d'aliment, déduction faite de l'entretien, nécessaire à l'obtention d'une unité de gain de poids, c'est-à-dire « l'indice de consommation de croissance ». Il correspond au coefficient p (besoin de production) de LEROY et FÉVRIER, (1947).

TABLEAU I

Désignation des lots	% de MAT dans le régime	Équation de régression	Coefficient de corrélation
M ₆	6	$\frac{I}{P} = 8,58 + 1,99 \frac{\Delta P}{P}$	0,62
M ₁₀	10	$\frac{I}{P} = 6,93 + 1,60 \frac{\Delta P}{P}$	0,79
M ₁₅	15	$\frac{I}{P} = 4,61 + 1,44 \frac{\Delta P}{P}$	0,91
M ₂₁	21	$\frac{I}{P} = 4,36 + 1,27 \frac{\Delta P}{P}$	0,90
M ₂₉	29	$\frac{I}{P} = 4,86 + 1,01 \frac{\Delta P}{P}$	0,93
M ₃₈	38	$\frac{I}{P} = 5,22 + 0,98 \frac{\Delta P}{P}$	0,91

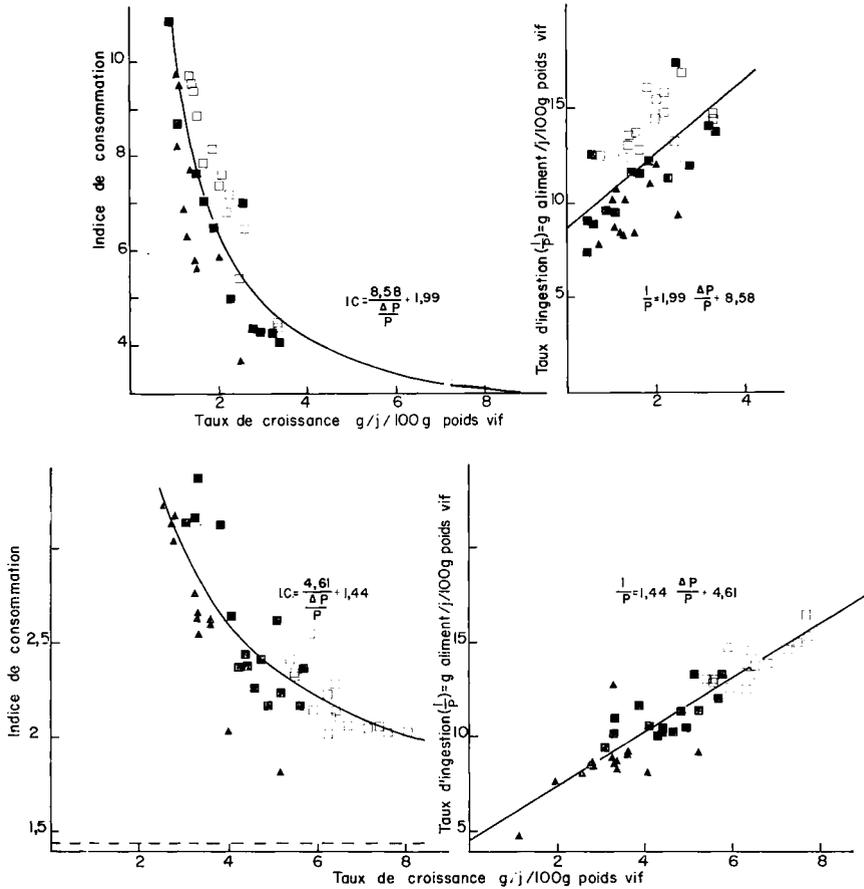


FIG. 1. — Relation entre taux de croissance d'une part, indice de consommation global et taux d'ingestion de l'autre
 De haut en bas : Lots M₆ et M₁₅,

Le tableau 1 donne les équations de régression obtenues avec les 6 régimes de taux protidique différent : P représente le poids moyen au cours d'une semaine, I et ΔP ont été estimés sur la même période. Les données des 3 semaines d'expérience sont groupées ensemble.

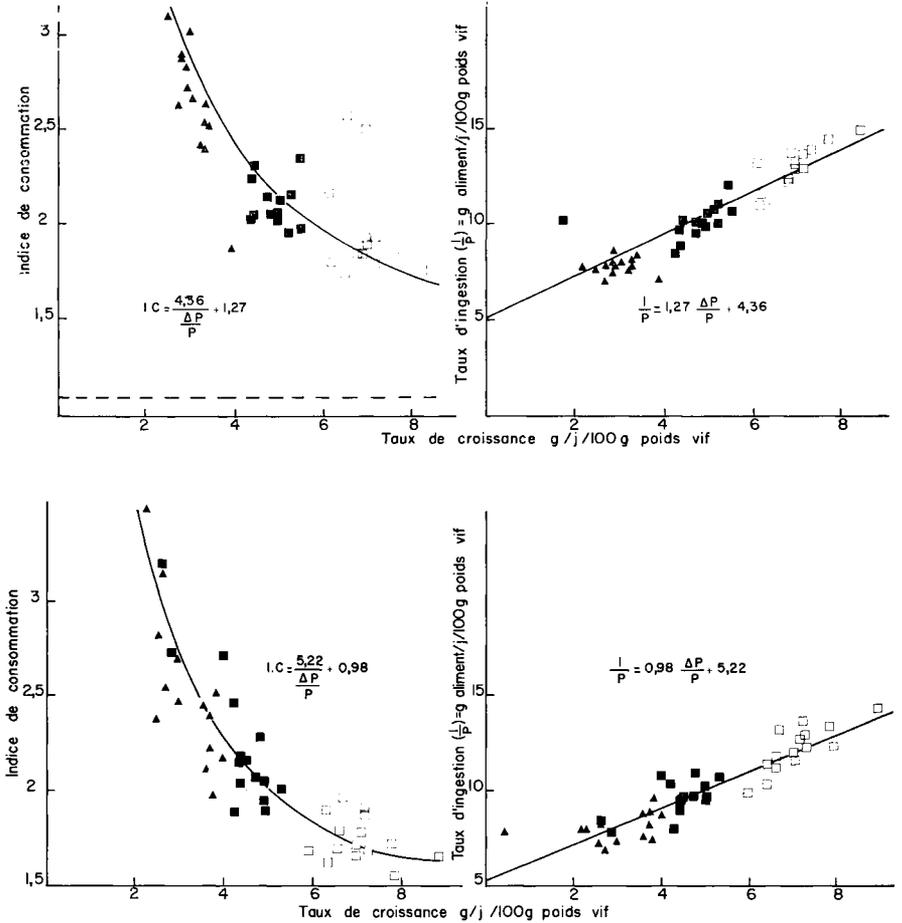


FIG. 1. (suite) — Relation entre taux de croissance d'une part, indice de consommation global et taux d'ingestion de l'autre

De haut en bas : Lots M₂₁ et M₃₈

Les triangles noirs, carrés noirs et carrés blancs représentent les valeurs des animaux à 3 âges différents.

La figure 1 donne des exemples de répartitions statistiques des valeurs individuelles de I en fonction de ΔP. La figure 2 illustre la variation des coefficients a et b en fonction du taux protéique de l'aliment. Il apparaît clairement que le second, c'est-à-dire l'indice de consommation de croissance estimé sur la moyenne du lot est sous la dépendance du taux protéique : il passe du simple au double quand ce pourcentage décroît de 38 à 6 p. 100. De fait le test d'ULMO (1959) nous montre que les coefficients b diffèrent entre eux de façon hautement significative (P < 0,01).

Sur la figure 2 on peut également voir que le coefficient a est remarquablement constant et voisin de 5 g d'aliment par jour et par 100 g de poids vif (soit 15,3 cal métabolisables/jour/100 g de poids vif). Seules font exception les valeurs correspondant aux taux de 6 et 10 p. 100 de M. A. T.

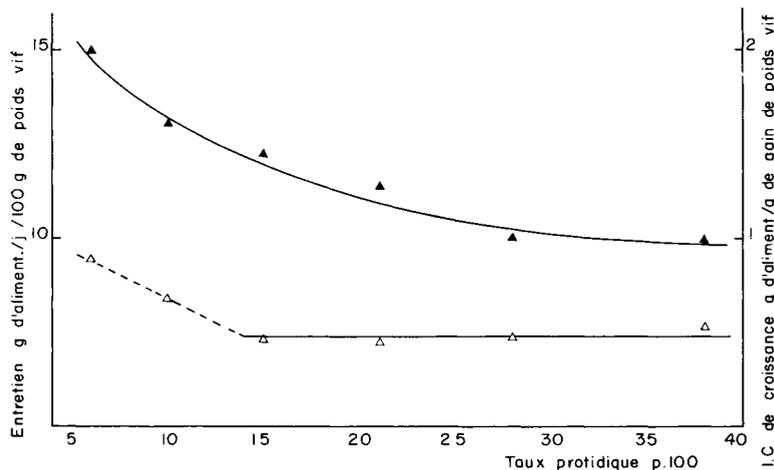


FIG. 2. — Variation des coefficients a (entretien) et b (indice de consommation de croissance) en fonction du taux protidique

Δ Entretien
 \blacktriangle I. C. de croissance

2. Variations individuelles de la consommation d'aliment

Le calcul des coefficients a et b ne nous renseigne pas sur le fait suivant : existe-t-il dans un même lot des individus qui ont, pour un taux de croissance donné, un ingéré supérieur à la moyenne du groupe et ceci de façon systématique, c'est-à-dire pendant les 3 semaines d'expérience? Pour aborder le problème nous avons utilisé les « corrélations de partie » permettant de relier entre eux des écarts par rapport à la droite de régression (ou « résidus ») selon la technique de DUBOIS et MANNING (1961).

Les corrélations que nous avons obtenues sont toujours positives et relativement élevées (cf. tabl. 2). Il existe donc dans un même lot des poussins ayant même taux de croissance qui consomment plus que d'autres. Mais ce fait peut être dû lui-même à deux causes : l'individu i peut avoir une faible croissance par rapport à son ingéré parce que son besoin d'entretien a_i est plus élevé que le besoin moyen a du groupe, ou bien parce que son indice de consommation de croissance b_i est supérieur à b calculé sur l'ensemble des animaux.

Nous avons dans les lots présentant la meilleure croissance (M_{51} , M_{21} , M_{29} et M_{38}) calculé les indices de consommation de croissance de chaque individu (nous disposons de 3 valeurs par animal). Nous avons testé leur homogénéité à l'aide du test d'ULMO déjà cité. Il n'a pas été possible de mettre en évidence une différence significative entre individus nourris à l'aide d'un même régime. L'indice de consommation de croissance semble donc être le même pour tous les individus. Dans ces

TABLEAU 2

Corrélations entre les « résidus » de différentes semaines

Lots	1 ^{re} semaine et 2 ^e semaine	1 ^{re} semaine et 3 ^e semaine	2 ^e semaine et 3 ^e semaine
M ₁₅	0,911	0,791	0,351
M ₂₁	0,671	0,226	0,291
M ₂₉	0,749	0,113	0,485
M ₃₈	0,925	0,505	0,058

Les corrélations ont été calculées à l'aide de la formule de DUBOIS et MANNING :

$$r_{(2-1)(4-3)} = \frac{r_{2,4} - r_{1,2} r_{1,4} - r_{2,3} r_{2,4} r_{3,4} + r_{1,2} r_{1,3} r_{3,4}}{(1 - r_{1,2}^2)(1 - r_{3,4}^2)}$$

où (2 - 1) et (4 - 3) représentent les résidus de la 2^e sur la 1^{re} et de la 4^e sur la 3^e variable par exemple de $\frac{I}{P}$ 1^{re} semaine sur $\frac{\Delta P}{P}$ 1^{re} semaine et de $\frac{I}{P}$ 2^e semaine sur $\frac{\Delta P}{P}$ 2^e semaine. $r_{2,4}$ désigne la corrélation entre la 2^e et la 4^e variable (par exemple $\frac{I}{P}$ 1^{re} semaine $\frac{I}{P}$ 2^e semaine) etc.

TABLEAU 3

Corrélations entre « résidus » et poids vif moyen

Lots	1 ^{re} semaine	2 ^e semaine	3 ^e semaine
M ₁₅	- 0,791	- 0,711	- 0,638
M ₂₁	- 0,410	- 0,326	- 0,416
M ₂₉	- 0,337	- 0,411	- 0,265
M ₃₈	- 0,316	- 0,012	- 0,487

Ces corrélations ont été calculées l'aide de la formule de DUBOIS et MANNING :

$$r_{(2-1)3} = \frac{r_{2,3} - r_{1,2} r_{1,3}}{1 - r_{1,2}^2}$$

où (2 - 1) représente le résidu de la seconde sur la 1^{re} variable (ici de $\frac{I}{P}$ sur $\frac{\Delta P}{P}$) $r_{2,3}$ la corrélation entre la 2^e et la 3^e variable (ici entre $\frac{I}{P}$ et le poids moyen). etc.

conditions on doit supposer qu'il existe des différences individuelles portant sur le coefficient a . Ces différences individuelles peuvent être anarchiques ou au contraire liées à une variable identifiable. Pour le savoir nous avons fait à nouveau appel à la technique des corrélations de partie.

Nous avons ainsi vérifié que, par rapport à la droite d'ajustement du taux d'ingestion au taux de croissance dans le lot entier, les droites d'ajustement individuelles se classaient d'après le poids des sujets : si l'on se reporte au tableau 3 on voit que les corrélations entre « résidus » et poids sont toutes négatives. Les individus les plus lourds ont tendance à se placer au-dessous et les individus les plus légers au-dessus. Cela signifierait que l'entretien par unité de poids est plus important chez les animaux les plus légers (l'entretien est moins que proportionnel au poids vif). Il s'agit d'un phénomène distinct de celui que nous avons observé en considérant des différences de poids moyens dues au régime ou à l'âge, ces deux facteurs n'affectant pas de façon visible le besoin d'entretien dans nos conditions expérimentales. Dans le cas présent on a affaire à des variations individuelles dont l'origine est certainement génétique pour une grande part.

3. Influence de la vitesse de croissance sur l'indice de consommation global

Il est clair que la croissance aura sur l'IC une influence d'autant plus grande qu'elle sera elle-même plus importante vis-à-vis de l'entretien. Pour mieux mettre en évidence cette influence nous avons porté (fig. 1) la variation de l'indice de consommation (calculé pour une semaine) en fonction du taux de croissance. Il existe entre les deux variables, une régression curvilinéaire ; la forme de la courbe d'ajustement semble la même quel que soit le taux protéique ; mais les courbes correspondant à chaque taux protéique sont décalées les unes par rapport aux autres, la valeur la plus probable de l'indice est d'autant plus faible que l'aliment est plus concentré en protéines.

Tout ceci s'interprète aisément grâce à l'équation d'ARNOULD: en effet en divisant par ΔP chaque membre de (1) on obtient :

$$\frac{I}{\Delta P} = \frac{aP}{\Delta P} + b$$

ou

$$I.C. = \frac{a}{P} + b \tag{3}$$

qui est l'équation d'une hyperbole équilatère dont l'asymptote horizontale a pour ordonnée b : la limite de l'indice de consommation pour un aliment donné (qui correspond à un taux de croissance infini) est le « besoin de croissance » par unité de gain de poids. Ce résultat était prévisible, puisque pour une croissance infiniment rapide le besoin d'entretien serait nul. Il justifie donc pleinement l'équation d'ARNOULD.

Si l'on se reporte aux équations du tableau 1, on retrouve un résultat prévisible : l'indice de consommation est fortement lié à l'ingestion puisque, à l'intérieur d'un lot la vitesse de croissance dépend étroitement de la consommation.

DISCUSSION

On a étudié déjà à plusieurs reprises les effets du taux protidique du régime sur l'indice de consommation. Au fur et à mesure que l'apport azoté augmente l'indice de consommation diminue tout d'abord, passe par un minimum puis augmente.

Comme nous l'avons dit en introduisant cette étude la signification nutritionnelle de cet indice de consommation que nous qualifierons de « global » est très faible. Il est en effet la résultante de l'utilisation du régime à deux fins différentes : l'entretien et la production. Il revient à ARNOULD (1961), le grand mérite d'avoir établi une méthode graphique simple qui permet chez l'animal en croissance la distinction entre ces deux besoins.

D'autres équations avaient déjà été proposées et l'on ne peut passer sous silence celle de BYERLY (1951) établie sur la poule :

$$I = 0,523 P^{0,625} + 1,126 \Delta P \quad (4)$$

Le facteur $P^{0,625}$ représente la taille métabolique, Il a été jugé plus exact que le poids vif par de nombreux auteurs (KAYSER, 1963). En toute rigueur il ne s'applique pourtant qu'au métabolisme de base d'animaux adultes. Rien ne prouve qu'il soit valable pour des animaux en croissance de même espèce et d'âge variable. Les équations de BYERLY et d'ARNOULD se ramènent cependant à une même égalité de la forme :

$$I = aP^b + c \Delta P$$

où ARNOULD attribue la valeur 1 à l'exposant. Cette valeur se justifie dans ses expériences, comme dans les nôtres puisque la liaison obtenue entre $\frac{I}{P}$ et $\frac{\Delta P}{P}$ est linéaire.

Pour que l'équation d'ARNOULD ait une portée générale, il faudrait qu'elle satisfasse à une autre condition : la régression obtenue devrait être la même que l'on fasse varier le taux de croissance en choisissant des animaux de même âge et d'aptitude individuelle variable, ou des moyennes d'animaux d'âge différent. Cette dernière condition n'est pas vérifiée dans nos essais puisque, parmi les individus d'un même âge nourris de la même façon, ceux qui ont le plus faible besoin d'entretien par unité de poids corporel ont tendance à être les plus gros.

Nous n'avons pas le moyen de relier valablement ces différences de besoin à une fonction mathématiquement définie du poids corporel : l'ajustement eût été trop imprécis. Elles s'interprètent cependant aisément si l'on admet que le métabolisme de base est proportionnel au poids vif élevé à une puissance inférieure à l'unité. Nous rejoignons donc une loi (valable à l'intérieur d'un lot) du type de celle de BYERLY ou, plus généralement de celle de BRODY, (1945).

L'équation d'ARNOULD rendrait donc compte des variations moyennes du besoin d'entretien causées par l'âge ou l'alimentation ; les variations individuelles suivraient une loi semblable à celles de BRODY ou BYERLY.

La régression linéaire établie selon la méthode d'ARNOULD nous a permis d'éva-

luer le besoin d'entretien et l'« indice de consommation de croissance » pour chaque lot. Bien que l'estimation de l'entretien par extrapolation soit imparfaite, nous avons malgré tout pu étudier les effets du taux protidique d'un régime dont le niveau énergétique était constant sur ces deux besoins et nous avons constaté que ces effets étaient totalement différents.

Le *besoin d'entretien* est constant au cours des trois semaines d'expérience (1) et ne dépend pas du taux protidique. Deux lots semblent faire exception à cette constance ; les lots M₃ et M₁₀, c'est-à-dire ceux où les animaux étaient les plus carencés en protéines. Mais ces deux lots étaient aussi ceux où la corrélation entre $\frac{I}{P}$ et $\frac{\Delta P}{P}$ était la plus faible ; l'estimation de l'ordonnée à l'origine était par conséquent imprécise et faite par excès. Cette exception est donc imputable, au moins en partie, à une imprécision inhérente au mode de calcul.

Remarquons au passage que cette proportionalité entre entretien et poids vif indépendamment du taux azoté est valable pour le besoin *énergétique* d'entretien. Partant de cette observation ARNOULD en a déduit que le besoin *azoté* d'entretien serait proportionnel au taux azoté, c'est un des points importants de sa thèse.

Si le taux azoté n'a aucune influence sur l'entretien énergétique, il a, par contre, une action très nette sur l'indice de consommation de croissance et sur la consommation.

L'« *indice de consommation de croissance* » a dans nos essais des propriétés semblables à celles que lui attribue ARNOULD : au fur et à mesure que l'on élève le taux protidique le coefficient *b* décroît pour atteindre une limite asymptotique ; autrement dit, l'utilisation de la part d'aliment restant pour la croissance ne fait que s'améliorer quand la teneur en protéines passe de 6 à 38 p. 100.

On ne comprend pas, donc en se référant à ce seul coefficient pourquoi les excès de protéines diminuent la croissance et l'efficacité alimentaire globale. Il faut tenir compte pour expliquer ces faits de l'effet néfaste des taux azotés élevés sur l'appétence, effet dont nous avons déjà parlé (GUILLAUME et *al.*, 1965) et qui dans cette expérience apparaît dès 15 p. 100 de protéines. Au taux de 21 p. 100 la diminution de l'ingéré est compensée par une amélioration de l'utilisation alimentaire, mais au-delà elle prédomine sur cette amélioration qui devient de plus en plus faible. Ces résultats confirment d'ailleurs ceux d'ARNOULD (1961) bien que, chez le Rat, la diminution de l'ingéré en fonction du taux azoté suive des lois tout à fait différentes de celles que nous avons trouvées.

Les *variations intra-lot* présentent elles aussi un grand intérêt car elles mettent en évidence des différences que l'on n'a jamais pu constater en élevant les poussins en bandes ou en cages collectives. Elles démontrent qu'il existe une grande variabilité dans les indices de consommation globaux chez des sujets de même âge nourris de la même façon. Or, nous n'avons pu mettre en évidence de différences individuelles de l'indice de consommation de croissance. Les divergences observées sont donc imputables d'une part à des différences d'appétit (voir fig. 1) et d'autre part à des différences individuelles du besoin d'entretien par unité de poids.

(1) Nous montrerons dans une note ultérieure que cette relation n'est pas valable pour *tous* les âges du Poussin.

CONCLUSION

Comme on peut le voir sur la figure 1 l'indice de consommation global est lié assez étroitement à la vitesse de croissance. Celle-ci dépend elle-même à la fois de l'indice de consommation de croissance et de la part de l'aliment restant pour la croissance. Cette part est la différence entre ingestion totale (fonction de l'appétit de l'animal et de « l'appétibilité » du régime) et besoin d'entretien.

L'appétit varie beaucoup d'un oiseau à l'autre, l'appétibilité décroît avec les taux azotés excessifs.

Le besoin d'entretien et l'indice de consommation de croissance sont doués de propriétés différentes : le premier est fonction de l'animal et non du régime, le second du régime et non de l'animal. L'un et l'autre peuvent se déterminer à l'aide de l'équation d'ARNOULD qui fournit des critères moins simples à calculer que l'indice de consommation global, mais qui possèdent davantage d'intérêt et de signification.

Reçu pour publication en mai 1966.

SUMMARY

THE ROLE OF PROTEIN IN THE UTILIZATION OF FEED BY YOUNG CHICKENS.
3. EFFECT OF PROTEIN CONTENT ON THE EFFICIENCY OF FEED CONVERSION.

Chickens aged 28 days at the start were in individual cages and fed for 3 weeks. The diets supplied equal energy. They differed in protein content but the quality of the protein was the same for all (GUILLAUME, FENDRY and IMBACH, 1965).

Intake of feed can be related to gain in weight and to maintenance by the linear formula of ARNOULD, 1961 :

$J = aP + b\Delta P$ where I is daily intake per head, P is liveweight and ΔP is gain in weight, all expressed in grams.

The maintenance requirement thus defined, a , is for a given group, proportional to liveweight. It is independent of the protein content of the diet, except perhaps when the protein content is very low. Variation among individuals, already known to exist, was seen ; within a group the smallest birds had the highest maintenance requirement in relation to bodyweight. If the part of the feed supplying maintenance requirement is deducted, the capacity of the remainder to allow growth, coefficient b , is a function of the protein content only ; it increases regularly with protein content up to 21 per cent crude protein when it reaches the maximum. However, diets with very high protein content have a depressing effect on intake, and that results in an increase in the proportion of feed used for maintenance.

Intake per unit weight gained is a result of these two opposite effects of protein content. For a given feed it also differs among individuals because their appetites and their requirements for maintenance per unit bodyweight differ.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNOULD R., 1961. *L'utilisation des protéines pour la croissance*. Thèse Doct. sciences, Université de Louvain, Belgique.
- BRODY S., 1945. *Bioenergetics and growth, with special reference to the efficiency complex in domestic animals*. 12 + 1023. Reinhold Publishing corporation, New York.

- BYERLY T. C., 1941. Feed and other costs of producing market eggs. *Maryland agric. exper. Stn. Bull.*, **346**, 1-29.
- DONALDSON W. E., COMBS G. F., ROMOSER G. L., 1956. Studies on energy levels in poultry rations. I. The effect of calorie-protein ratio of the ration on growth, nutrient utilization and body composition. *Poult. Sci.*, **35**, 1100-1105.
- DUBOIS P. M., MANNING W. M. Methods of Research on technical training *Technical Report 1961 n° 3*, cité par GOLDBERG M. et GUILLAUME J. *Analyse statistique de la progression en vol en école élémentaire*. Publications du CEIPAA, Versailles, juin 1962.
- FÉVRIER R., 1952. L'indice de consommation est-il chez le porc, le témoin fidèle de l'efficacité d'une ration? *Ann. Zootech.*, **1**, 175-184.
- GUILLAUME J., FENDRY M., IMBACH M'B., 1965. Le rôle des protides dans l'utilisation des aliments du poussin. II. Influence du mode de distribution des aliments sur la consommation d'énergie. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **5**, 293-308.
- KAYSER C., 1963 Bioenergetique, In KAYSER C. *Physiologie*, **1**. Introduction historique. Fonctions de Nutrition. Flammarion, éd., Paris, 110-121.
- LEROY A. M., FÉVRIER R., 1947. Influence du mode de distribution des repas sur l'utilisation de la nourriture par le porc. *Ann. agron.*, **17**, 765-770.