

LE RÔLE DES PROTIDES DANS L'UTILISATION DES ALIMENTS DU POUSSIN

II. — INFLUENCE DU MODÉ DE DISTRIBUTION DES ALIMENTS SUR LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

J. GUILLAUME, Monique FENDRY et B. IMBACH

Station de Recherches avicoles,
Centre national de Recherches zootechniques, Jouy-en-Josas (Seine-et-Oise)

SOMMAIRE

Des poussins élevés de 4 à 7 semaines en cages individuelles sont nourris à l'aide d'aliments semi-purifiés. Deux systèmes d'alimentation sont utilisés ; le premier consiste à distribuer un aliment complet *ad libitum* ; le deuxième, à donner au Poussin, dans deux mangeoires séparées, une quantité limitée de protéines et un aliment protéoprive à volonté.

Le taux protidique de la première série de régimes varie de 6 à 38 p. 100. Les poussins de la deuxième série reçoivent des quantités de protéines allant de 1 à 20 g/jour, ce qui correspond à des pourcentages allant de 3 à 28 p. 100 du total des aliments ingérés. Les différents aliments sont isoénergétiques.

Le gain de poids et l'efficacité alimentaire sont, dans les meilleurs lots, supérieurs en alimentation mixte lors de la première semaine, en alimentation séparée lors de la troisième.

Le taux azoté et la quantité de protéines octroyée exercent une influence sur la consommation d'énergie. Mais la relation existant entre ingéré azoté et ingéré total est différente selon le mode d'alimentation. En alimentation séparée nous avons montré que, dans nos conditions expérimentales, la consommation d'aliment est liée à l'ingéré azoté par une hyperbole dont l'équation a été définie.

Pour une même quantité de protéines ingérées, le Poussin consomme moins d'éléments non azotés en alimentation séparée qu'en alimentation mixte ; il en résulte généralement une croissance plus faible et une baisse de l'efficacité alimentaire avec le premier mode d'alimentation. Toutefois les résultats s'inversent lorsque l'on compare les indices de consommation de poussins possédant les mêmes gains de poids. Dans les deux cas les différences s'estompent au voisinage du maximum de croissance.

En 1961, CALET, JOUANDET et BARATOU expérimentent une nouvelle méthode d'alimentation du poulet. Ils distribuent simultanément mais dans deux mangeoires distinctes un aliment azoté en quantité limitée et un aliment non protéique offert *ad libitum*. Dans ces conditions le Poussin ajuste sa consommation d'aliment non azoté et finalement sa consommation totale de calories à la valeur nutritionnelle des protéines de son repas. Le rapport calories/protéines déterminé par le Poussin

lui-même est d'autant plus élevé que la valeur biologique des protéines est plus grande.

Depuis, d'autres chercheurs ont repris cette méthode et ont montré que ce comportement n'était pas propre au Poussin puisqu'il se retrouve chez le Rat. Ils ont étudié en détail les mécanismes de l'ajustement de la consommation spontanée d'énergie (C.S.E.) à l'apport azoté du Rat (HENRY et RÉRAT, 1962 ; RÉRAT et HENRY, 1963) et ont mis au point une nouvelle technique de mesure du coefficient d'efficacité protidique (C.E.P.) (PERETIANU et ABRAHAM, 1963).

Plusieurs inconnues demeurent, bien que l'on sache que la consommation spontanée d'énergie du poussin soit déterminée par la qualité (CALET et *al.*, 1961) et la quantité de protéines (GUILLAUME et CALET, 1964).

Il nous a paru intéressant de reprendre l'étude de la consommation totale d'aliment par le Poulet quand on lui octroie des quantités journalières diverses de protéines alimentaires ou quand il dispose d'aliments mixtes (aliments complets normaux) à taux protéiques très variables. Nous avons enregistré, dans ces conditions les variations du gain de poids et de l'efficacité alimentaire au moyen du coefficient d'efficacité protidique et de l'indice de consommation.

MATERIEL, ET METHODES

Nos sujets expérimentaux sont des poussins *Arbor Acre* mâles ; 540 sont pesés à 7 jours, bagués à l'aile et, après élimination des individus s'écartant le plus de la moyenne, placés en cages individuelles. Ils sont peu à peu habitués à la solitude puis à l'alimentation séparée telle qu'elle a été décrite plus haut. Les individus qui s'adaptent le moins bien sont à nouveau éliminés et les 180 choisis sont répartis à l'âge de 28 jours en lots de 15 oiseaux homogènes en poids et gain de poids (MAC KITTRICK, 1947).

L'expérience proprement dite débute au moment où les poussins sont âgés de 28 jours. 6 lots reçoivent des aliments mixtes et les 6 autres sont nourris en alimentation séparée selon la méthode décrite en détail par CALET et MELOT (1961.) Le premier groupe sera désigné par la lettre M, le second par la lettre S.

Préparation des régimes.

On prépare un aliment azoté contenant environ 50 p. 100 de M.A.T. ($N \times 6,25$) et un aliment protéoprive.

L'aliment azoté dont la composition centésimale figure au tableau 1 est un mélange de tourteau de sésame, caséine, farine de poisson de Norvège, huile d'arachide, cérélose et complément

TABLEAU I

Composition du régime protéique en pour cent

| | |
|---------------------------------------|------|
| Tourteau de sésame | 44,2 |
| Farine de poisson de Norvège | 30,0 |
| Caséine | 11,4 |
| Huile d'arachide | 5,2 |
| Cérélose (glucose monohydraté) | 7,5 |
| Complément vitaminique ⁽¹⁾ | 1,7 |

⁽¹⁾ On trouvera la composition du complément vitaminique dans CALET et MELOT (1961).

vitaminique. Il contient 50,9 p. 100 de protéines qui ont pour facteur limitant primaire les acides aminés soufrés ; mais on ne fait aucune supplémentation en méthionine pure de façon à éviter les effets éventuels des acides aminés libres sur la consommation spontanée d'énergie (CALET, 1961 ; HALPERN et al., 1962).

L'aliment protéoprive (tabl. 2) renferme le complément minéral ; son taux énergétique est calculé de façon à être très voisin de celui du régime précédent (3 040 et 3 090 calories métabolisables/kg respectivement). Il est totalement dépourvu de vitamines. Comme le précédent il est employé sous forme de farine.

TABLEAU 2

Composition du régime protéoprive en pour cent

| | |
|------------------------|------|
| Cérélose | 70,0 |
| Amidon de maïs | 20,5 |
| Cellulose pure | 4,0 |
| Complément minéral (1) | 5,5 |

(1) On trouvera la composition du complément minéral dans CALET et MELOT (1961).

Ces deux aliments sont distribués séparément aux lots S. Pour constituer les régimes M, on mélange en proportions convenables l'aliment protéiné et l'aliment non protéiné ; on obtient ainsi les régimes dénommés M₆, M₁₀, M₁₅, M₂₁, M₂₉ et M₃₈ contenant 6 — 10 — 15 — 21 — 29 et 38 p. 100 de matières azotées totales respectivement. Comme les deux aliments de base sont isoénergétiques (à 1 p. 100 près), les régimes M le sont également. La répartition des acides aminés dans les protéines est rigoureusement la même d'un régime à l'autre. Les vitamines, placées initialement (en doses largement excédentaires) dans l'aliment azoté, sont en quantités variables, mais proportionnelles à l'apport azoté. Les minéraux ne sont pas en proportion constante, puisque les sources de protéines (non purifiées) en contiennent, mais ils suffisent pour couvrir les besoins du Poussin.

En alimentation séparée nous donnons des rations d'aliment azoté correspondant à des doses de protéines totales allant de 1 à 12 g/jour pendant la première semaine, et de 2,5 à 19,7 g/jour pendant les deux dernières semaines. De cette manière on pouvait prévoir que la proportion de protides dans l'ingéré total augmenterait linéairement (GUILLAUME et FENDRY, 1964). Les lots correspondants sont nommés S₆, S₁₀, ..., S₂₉ bien que les taux obtenus réellement ne soient pas exactement 6-10, ..., 29 p. 100 de protéines. Le dernier lot (S₃₈) reçoit les deux aliments à volonté en libre choix.

L'expérience dure 20 jours. L'éclairage est dispensé 14 heures par jour. L'eau de boisson de même que les régimes M et l'aliment protéoprive des régimes S sont fournis *ad libitum*.

RÉSULTATS

Les résultats portant sur l'ingestion d'aliment, de protéines, l'indice de consommation, le gain de poids et le coefficient d'efficacité protidique sont rapportés, semaine par semaine, dans les tableaux 3, 4, 5.

1° Résultats globaux

a) Croissance.

Les gains de poids sont, dans les meilleurs lots, aussi élevés que ceux que l'on aurait pu espérer obtenir avec un aliment usuel bien équilibré.

TABLEAU 3
Croissance et efficacités alimentaires (par poussin et par jour) au cours de la 1^{re} semaine

| | Alimentation mélangée | | | | | | Alimentation séparée | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | M ₆ | M ₁₀ | M ₁₅ | M ₂₁ | M ₂₉ | M ₃₈ | S ₆ | S ₁₀ | S ₁₅ | S ₂₁ | S ₂₉ | S ₃₈ |
| Poids initial..... | 376,7 | 373,2 | 371,8 | 375,6 | 372,8 | 376,6 | 374,5 | 375,6 | 377,4 | 374,6 | 371,6 | 374,6 |
| Consommation de protéines (g)..... | 3,46 | 6,55 | 10,15 | 13,80 | 18,40 | 22,90 | 1,00 | 3,01 | 5,53 | 8,54 | 12,06 | 17,76 |
| Gain de poids (g)..... | 8,07 | 20,78 | 30,74 | 34,03 | 36,48 | 34,76 | 6,78 | 2,44 | 10,25 | 18,28 | 24,54 | 31,68 |
| Consommation totale (g)..... | 56,5 | 65,5 | 67,0 | 65,9 | 62,9 | 60,2 | 30,4 | 39,0 | 47,6 | 51,8 | 54,5 | 57,3 |
| Taux protéique (%)..... | 6 | 10 | 15 | 21 | 29 | 38 | 3,30 | 7,73 | 11,62 | 16,60 | 22,13 | 31,06 |
| Indice de consommation..... | 7,15 | 3,15 | 2,17 | 1,93 | 1,71 | 1,73 | — | 18,19 | 4,63 | 2,83 | 2,22 | 1,80 |
| C. E. P. | 2,23 | 3,16 | 3,02 | 2,46 | 2,01 | 1,51 | — | 0,71 | 1,85 | 2,14 | 2,03 | 1,78 |

TABEAU 4
Croissance et efficacités alimentaires (par poussin et par jour) au cours de la 2^e semaine

| | Alimentation mélangée | | | | | | Alimentation séparée | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | M ₆ | M ₁₀ | M ₁₅ | M ₂₁ | M ₂₉ | M ₃₈ | S ₆ | S ₁₀ | S ₁₅ | S ₂₁ | S ₂₉ | S ₃₈ |
| Consommation de protéines (g) | 3,18 | 7,59 | 11,54 | 15,90 | 20,10 | 26,36 | 2,51 | 5,55 | 8,54 | 12,56 | 17,63 | 18,92 |
| Gain de poids (g) | 7,68 | 20,74 | 30,54 | 34,27 | 33,37 | 31,53 | 6,64 | 18,27 | 23,38 | 28,70 | 33,43 | 30,87 |
| Consommation totale (g) | 53,0 | 75,9 | 77,0 | 75,7 | 69,3 | 69 | 38,8 | 50,9 | 57,3 | 63,5 | 65,2 | 65,8 |
| Taux protéique (%) | 6 | 10 | 15 | 21 | 29 | 38 | 6,47 | 11,76 | 14,90 | 19,78 | 27,06 | 28,74 |
| Indice de consommation | 6,89 | 3,66 | 2,51 | 2,20 | 2,07 | 2,19 | 5,84 | 2,57 | 2,45 | 2,25 | 1,95 | 2,21 |
| C.E.P. | 2,41 | 2,73 | 2,64 | 2,45 | 1,66 | 1,19 | 2,64 | 3,30 | 2,73 | 2,66 | 1,89 | 1,63 |

TABLEAU 5
Croissance et efficacités alimentaires (par poussin et par jour) au cours de la 3^e semaine

| | Alimentation mélangée | | | | | | Alimentation séparée | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | M ₆ | M ₁₀ | M ₁₅ | M ₂₁ | M ₂₉ | M ₃₆ | S ₆ | S ₁₀ | S ₁₅ | S ₂₁ | S ₂₉ | S ₃₆ |
| Consommation de protéines (g.) | 2,85 | 7,66 | 11,36 | 15,35 | 21,08 | 27,92 | 2,51 | 5,55 | 8,54 | 12,55 | 16,64 | 19,72 |
| Gain de poids (g.) | 5,86 | 13,08 | 20,45 | 26,28 | 28,47 | 28,60 | 6,85 | 19,86 | 27,10 | 27,56 | 27,34 | 27,60 |
| Consommation totale (g.) | 47,5 | 76,6 | 78,5 | 73,6 | 72,7 | 73,5 | 38,4 | 48,4 | 60,6 | 67,2 | 70,0 | 72,4 |
| Taux protéique (%) | 6 | 10 | 15 | 21 | 29 | 38 | 6,53 | 11,58 | 14,10 | 18,47 | 23,76 | 27,23 |
| Indice de consommation | 6,92 | 3,85 | 2,79 | 2,66 | 2,65 | 2,66 | 6,55 | 3,69 | 2,93 | 2,55 | 2,46 | 2,53 |
| C.E.P. | 2,46 | 2,59 | 2,38 | 4,79 | 1,29 | 0,98 | 2,33 | 2,33 | 2,44 | 2,09 | 1,72 | 1,44 |

Dans les deux séries de lots l'influence du taux protidique est évidente. Nous préférons cependant exprimer les résultats non pas en fonction de ce taux mais en fonction de la quantité de protéines ingérée par les animaux qui le reçoivent (fig. 1). Ce changement de variable modifie peu l'allure des courbes et rend la comparaison des lots M et S plus commode.

Dans le cas des lots M l'accroissement de la quantité de protéines ingérée provoque une augmentation brutale du gain de poids en deçà de 11 g de protéines par jour et par animal ; au-delà de cette dose l'augmentation est de plus en plus faible

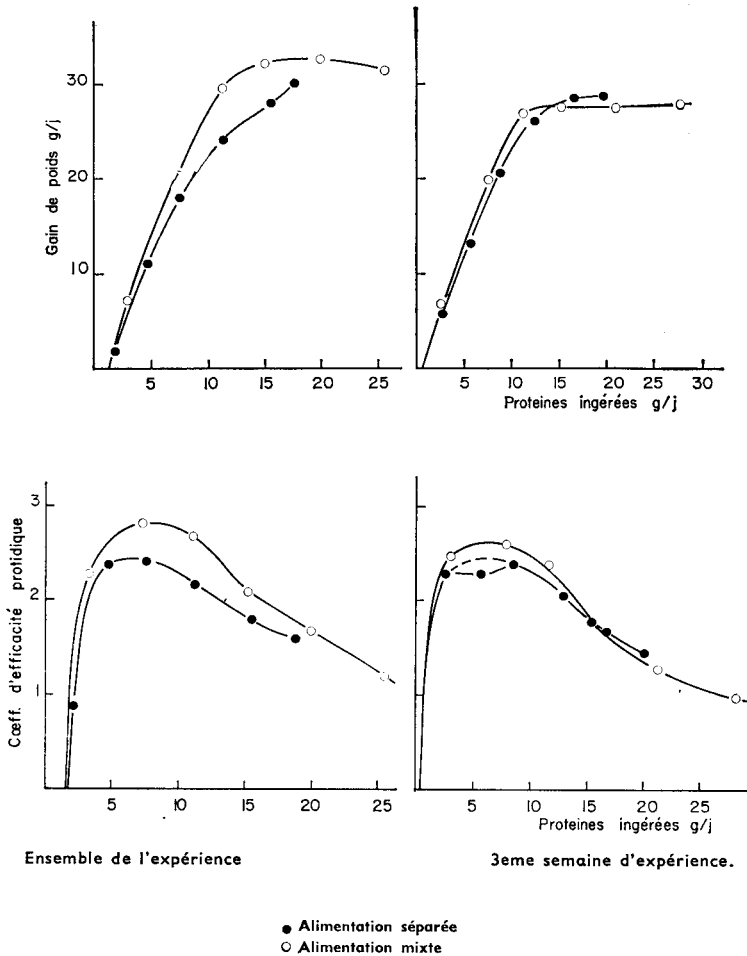


FIG. 1. — Evolution du gain de poids et du C.E.P. en fonction de l'ingéré azoté

et on observe un maximum du gain de poids, assez peu marqué d'ailleurs, pour la dose de 19,7 g/jour. Cette ingestion est enregistrée chez les poussins du lot M 29.

La courbe correspondant aux lots S est nettement distincte de la précédente : pour une même quantité de protéines consommée par le poulet, la croissance est

toujours plus faible que dans les lots M. De plus la forme de la courbe est également différente ; elle ne présente pas de maximum et la meilleure performance est obtenue avec la plus forte ingestion de protéines ; elle est réalisée par le lot nourri en libre choix.

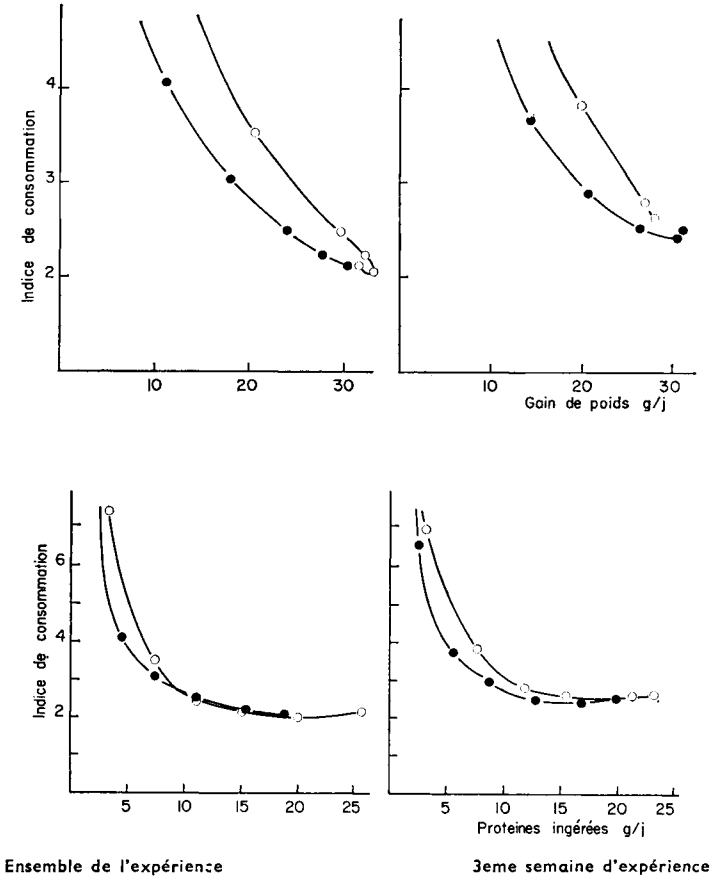


FIG. 2. — Évolution de l'indice de consommation en fonction de l'ingéré azoté et variation de l'indice de consommation en fonction du gain de poids

b) Coefficient d'efficacité protidique.

Sur la figure 1 nous avons porté les variations du coefficient d'efficacité protidique (C.E.P.) en fonction de la quantité de protéines ingérée. Les courbes ont la même forme que celles décrites par BARNES et BOSSHARDT, (1946) chez la Souris et que celles étudiées d'un point de vue théorique par ARNOULD (1961.) (Ces auteurs avaient l'un et l'autre suivi l'évolution du C. E. P. en fonction du taux protéique et non de la dose de protéines ingérée comme nous l'avons fait. Mais en remplaçant le taux azoté par l'ingéré azoté, nous avons constaté que la forme des courbes était

peu modifiée ; la comparaison de nos courbes à celles des auteurs cités est donc possible.) Le C.E.P. croît extrêmement rapidement et passe par un maximum pour une ingestion de protéines très inférieure à celle qui assure le plus fort gain de poids ; puis il décroît lentement, la courbe présentant un point d'inflexion peu après son maximum.

La courbe correspondant aux lots S est toujours en-dessous de celle des lots M. Il n'est pas possible de dire si le maximum du C.E.P. a lieu pour les mêmes quantités de protéines dans les deux cas.

c) *Indice de consommation.*

Quand les apports protidiques conviennent le mieux au Poussin les indices de consommation s'avèrent très bons pour des aliments assez pauvres en matières grasses et pour des animaux de 4 à 7 semaines. Ils sont de l'ordre de 2 pour chaque série de lots mais atteignent des valeurs légèrement plus basses dans les lots M.

Ils sont influencés à peu près de la même manière par l'ingéré azoté dans chaque type d'alimentation (fig. 2) : il y a une amélioration spectaculaire du taux de conversion en deçà de 10 p. 100 environ, quand l'ingestion de protéines s'accroît ; au-delà l'effet de la quantité de protéines est beaucoup moins net ; il existe un minimum très aplati en alimentation mixte, tandis que la courbe est constamment décroissante en alimentation séparée. Signalons aussi que, à gain de poids égal, le taux de conversion est toujours meilleur en alimentation séparée (fig. 2), mais il correspond à des quantités d'azote ingéré non comparables.

d) *Consommation.*

Ces trois exemples nous montrent que les lots M et S ont chacun un comportement propre. Nous avons donc recherché si cela s'expliquait par des différences de mécanismes de régulation de l'appétit selon l'ingéré azoté.

α) Relation entre taux azoté et ingéré azoté.

Nous avons déjà publié les résultats concernant la variation du taux protidique du régime reconstitué par les poussins des lots S en fonction de la quantité de protéines qui leur est allouée (GUILLAUME et FENDRY, 1964). Sur la figure 3 nous avons reproduit la courbe d'ajustement de ces deux variables. Nous pouvons l'assimiler à une droite dès que la quantité de protéines dépasse 3 g/jour.

Sur ce même graphique figure également la courbe d'ajustement de l'ingestion de protéines dans les lots M en fonction du taux azoté, qui est cette fois imposé et sert de variable indépendante.

Cette deuxième courbe se situe toujours *en dessous* de la précédente. Autrement dit si un lot de poussins de la série M et un autre de la série S consomment la même quantité de protéines, la régime M a toujours un taux azoté plus faible que le régime S correspondant. Cela signifie que dans le premier cas le Poussin consomme davantage de calories.

Remarquons que, en alimentation séparée, le Poussin ne constitue jamais de repas contenant plus de 28 p. 100 de matières azotées totales et le taux le plus élevé est celui qui entraîne la plus forte croissance.

β) *Ingéré total dans les lots S.*

Si nous considérons la partie linéaire de la courbe d'ajustement du taux protidique à la quantité de protéines il nous est aisé de prévoir que la courbe de régression de l'ingéré total sur la quantité de protéines est une branche d'hyperbole :

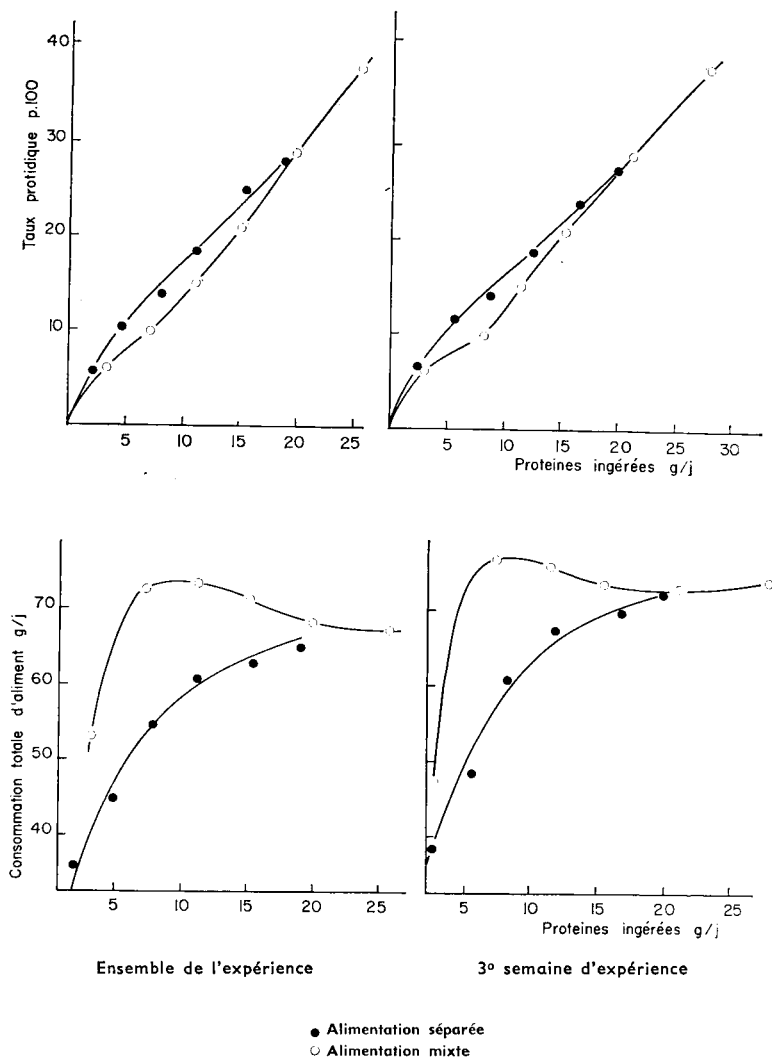


FIG. 3. — Relations entre ingéré protéique d'une part, taux protéique et ingéré total d'autre part.

Si le taux T est relié à la quantité q de protéines par une équation de la forme $T = aq + b$ (1) l'ingéré total y s'écrit $y = \frac{100 q}{T}$ par définition. Donc $y = \frac{100 q}{aq + b}$ (2). C'est l'équation d'une branche d'hyperbole qui passe par l'origine. Pourtant dans

la réalité les poussins qui ne reçoivent pas de protéines consomment une certaine quantité d'aliment. Cette contradiction provient du fait que la formule (1) ne s'applique plus aux faibles quantités de protéines ingérées. Pour ces valeurs on peut introduire dans (1) le facteur correctif arbitraire $\frac{q}{cq + d}$, qui permet de rendre compte de l'anomalie citée plus haut et de préciser le caractère général de la loi.

L'équation (1) s'écrit alors $T = q \frac{aq + b}{cq + d} = (3)$ et l'équation (2) devient $y = 100 \frac{cq + d}{aq + b} (4)$.

Nous avons encore affaire à une hyperbole, qui cette fois correspond à la réalité. Les coefficients a , b , d et c peuvent être estimés à l'aide des valeurs de T et de q satisfaisant à l'équation (3).

On peut constater sur la figure 3 que les points expérimentaux s'ajustent remarquablement à l'hyperbole théorique d'équation (4) tracée sur ce graphique.

Dans les lots S la C.S.E. augmente donc d'abord rapidement puis de moins en moins vite à mesure que la ration de protéines octroyée s'accroît. Dans les lots M la consommation d'énergie présente une évolution toute différente puisqu'elle augmente d'abord rapidement, passe par un maximum vers 10 à 15 p. 100 de matières azotées avant de diminuer légèrement quand on élève le taux protidique. Nous avons vérifié que cette diminution est hautement significative ($P < 0,01$).

2° Évolution des résultats dans le temps

Pendant la durée de l'expérience nous assistons à une double évolution du comportement des animaux : d'une part il y a réduction du gain de poids moyen d'une semaine sur l'autre. D'autre part les poussins des lots S, très inférieurs à tous points de vue à ceux des lots M au début de l'expérience, opèrent ensuite un redressement marqué. C'est pourquoi nous avons porté sur le graphique 1 les résultats obtenus pendant la troisième semaine à côté de ceux de l'ensemble de l'expérience qui reflètent surtout la première et la deuxième semaine (époque où les animaux étaient plus comparables, ayant un poids voisin).

a) Dans les lots M le taux protéique qui assure la meilleure croissance est de 29 p. 100 pendant la première semaine, 21 p. 100 pendant la deuxième. Au cours de la troisième semaine le gain de poids maximal est atteint dès 21 p. 100 de matières azotées, il ne diminue pas au-delà.

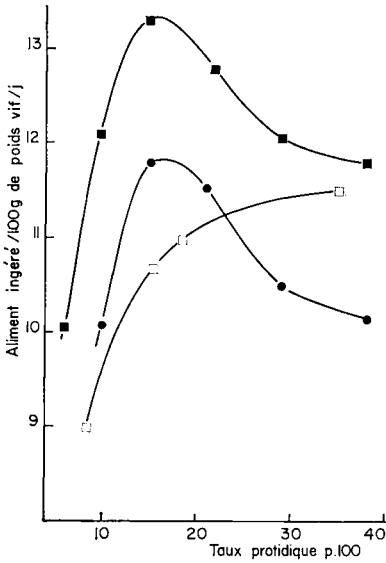
Les meilleurs gains de poids obtenus avec les lots S d'abord très inférieurs à ceux des lots M s'en rapprochent lors de la deuxième semaine et les dépassent à la troisième.

b) Le C.E.P. se montre extrêmement fluctuant d'une semaine sur l'autre : très faible en alimentation séparée lors de la première semaine, il devient plus élevé qu'en alimentation mixte lors de la deuxième et les deux courbes finissent par se rapprocher fortement l'une de l'autre lors de la troisième semaine (fig. 1).

c) L'indice de consommation se détériore avec l'âge des poussins comme on l'observe généralement. Il passe dans les meilleurs lots, de 1,71 à 1,94 et 2,46 de la

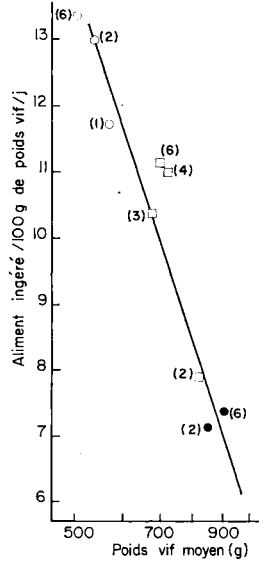
première à la deuxième et à la troisième semaine respectivement. Notons que l'optimum dans le cas des lots M se situe au-delà du taux permettant la croissance la plus élevée (deuxième semaine). Remarquons surtout que les meilleurs I.C. en valeur absolue sont obtenus avec l'alimentation séparée (fig. 2), sauf pendant la phase d'adaptation.

Ces trois critères nous montrent donc que durant la troisième semaine les poussins nourris en alimentation séparée ont de meilleurs gains de poids et les réalisent avec de meilleurs rendements alimentaires, bien que leur C.E.P. soit du même ordre de grandeur. On ne peut supposer que cela est dû à une plus grande ingestion d'aliment puisque la consommation des lots M et celle des lots S évoluent de la même manière. Celle des premiers reste supérieure à celle des seconds pour un même ingéré



■ Animaux de 480 à 560 g alimentation mixte
 ● Animaux de 640 à 780 g alimentation mixte
 □ Animaux de 480 à 560 g alimentation séparée

FIG. 4. — Quelques exemples d'évolution du rapport $\frac{\text{aliment ingéré}}{\text{Poids vif moyen}}$ en fonction du taux protéique



○ Résultats obtenus durant la 1^{re} semaine d'expérience
 □ Résultats obtenus durant la 2^e semaine d'expérience
 ● Résultats obtenus durant la 3^e semaine d'expérience

FIG. 5. — Variation du rapport $\frac{\text{aliment ingéré}}{\text{Poids vif moyen}}$ en fonction du poids vif moyen (alimentation mixte) Coordonnées logarithmiques. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre d'animaux.

protéique (fig. 3). On note une seule exception le lot S₃₈ ingère à peu près la même quantité de protéine que le lot M₂₉ et la consommation de Calories est très voisine dans les deux cas.

Nous pouvons mieux comprendre l'origine de cette différence de croissance entre les lots M et S si au lieu de considérer l'ingestion de calories par animal, on la rapporte au poids vif moyen comme le fait ARNOULD (1961). Ce mode d'expression

modifie assez peu l'allure des courbes que nous avons décrites. En alimentation mixte le rapport $\frac{\text{consommation d'énergie}}{\text{poids vif moyen}}$ passe par un maximum puis décroît. En alimentation séparée il ne cesse d'augmenter quand le taux protidique s'élève (fig. 4). Remarquons cependant que lors de la troisième semaine les animaux des lots S mangent davantage que ceux des lots M, relativement à leurs poids quand les taux azotés sont élevés. A ce moment et à ce moment seulement l'alimentation séparée permet une ingestion rapportée au poids vif et une croissance plus élevée.

Notons aussi que le rapport $\frac{\text{consommation d'énergie}}{\text{poids vif moyen}}$ décroît linéairement avec le logarithme du poids des animaux (fig. 5).

DISCUSSION

Nos résultats, pris dans leur ensemble confirment ceux qui ont déjà été obtenus dans notre laboratoire. A l'aide de la technique d'alimentation séparée, le Poussin réalise l'ajustement des ingérés énergétiques et protidiques comme l'ont montré CALET *et al.* (1961), GUILLAUME et FENDRY (1964). Ils concordent aussi avec ceux de RÉRAT et HENRY (1963), établis chez le Rat.

Ils confirment également les travaux de CALET *et al.* (1963) qui montraient que la courbe de poids est sans cesse ascendante sous l'effet de quantités croissantes de protéines. L'ajustement calorico-azoté demeure même lorsque les protéines sont distribuées *ad libitum* et que l'animal dispose des aliments énergétique et azoté en libre choix (lot S₃₈). Il convient de souligner que pour ce lot, les poussins consomment une quantité de matières azotées égale à celle qui assure la meilleure croissance dans les régimes mixtes.

Nos résultats apportent un supplément d'information en ce qui concerne la consommation des lots recevant l'alimentation séparée, celle-ci est déterminée par une relation mathématique. Lorsque la quantité de protéine allouée journallement augmente, la consommation est définie rigoureusement par une hyperbole dont nous avons donné les caractéristiques. Dans leurs travaux cités plus haut RÉRAT et HENRY avaient obtenu des résultats voisins des nôtres. Mais ils n'avaient utilisé que 3 doses de protéines et n'avaient pu préciser la nature de la courbe d'ajustement.

L'existence d'une limite asymptotique de la consommation d'énergie peut s'interpréter physiologiquement. Au fur et à mesure que l'on augmente la ration azotée du Poussin, on améliore l'équilibre nutritionnel du régime global et l'on augmente le rendement métabolique des Calories (FORBES *et al.*, 1944 ; KLEIBER, 1945 ; CALET *et al.*, 1964). Le Poussin peut donc consommer moins de nutriments énergétiques pour satisfaire un besoin énergétique donné.

Or il n'y a pas toujours parallélisme entre la valeur de l'apport azoté et la croissance comme en témoignent les variations du rapport gain de poids/protéines ingérées (C.E.P.). Lorsque la consommation de protéines du Poussin passe de 5 à 20 g par jour le C.E.P. ne fait que diminuer. En outre la composition du gain de poids

n'est pas la même selon le taux azoté de la ration. Des travaux non publiés montrent que la teneur du corps en calories diminue au fur et à mesure que l'oiseau ingère plus de protides (CALET et *al.*). Si l'on compare les résultats sur la base de la quantité de protéine ingérée, l'animal qui reçoit une ration pléthorique en azote présente par rapport à l'animal moins bien nourri les caractéristiques suivantes : son gain de poids par unité de protéines ingérées s'amenuise, il accumule moins de calories par unité de gain de poids et il le fait cependant avec un meilleur rendement énergétique. On comprend dès lors pourquoi l'augmentation de la consommation de régimes isoénergétiques s'amenuise progressivement et tend vers une asymptote lorsque l'on majore l'apport azoté. A l'opposé et pour les mêmes raisons on comprend pourquoi la courbe de consommation est fortement ascendante pour les faibles quantités d'azote ingéré. Ce résultat s'applique aussi bien pour les lots S_6 à S_{29} qui reçoivent une quantité de protéines fixée à l'avance que pour le lot S_{38} nourri en libre choix.

L'évolution de la consommation d'énergie est tout à fait différente en alimentation mixte. Dès que le taux protéique dépasse 10 p. 100, la consommation de Calories de chaque animal décroît régulièrement au fur et à mesure que l'on enrichit son régime en protéines.

Cette observation a été rarement énoncée. Citons MAYER (1954) qui est le seul à notre connaissance à avoir montré que tout excès de protéine freine l'appétit. On a plus souvent l'habitude de croire avec HILL et DANSKY (1954) que le Poussin consomme avant tout la quantité d'aliment qui lui permet de satisfaire son besoin énergétique. D'après ces auteurs l'élévation du taux énergétique du régime s'accompagne d'une réduction inversement proportionnelle de la consommation d'aliment de manière à ce que le montant des Calories ingérées demeure constant. Bien que nos régimes soient isoénergétiques, la diminution de l'ingéré est fonction du taux protidique d'une manière hautement significative. La théorie de COMBS (1961) permet d'expliquer en partie ce résultat. D'après elle un régime pauvre en un acide miné est consommé davantage par le Poussin qui tente de satisfaire ainsi son besoin en l'acide aminé le plus limitant. Dans le cas des lots M_{10} et M_{15} les régimes sont déficients pour l'ensemble des acides aminés et l'on comprend pourquoi ils induisent des consommations supérieures à celles des lots M_{21} et M_{29} . On n'explique cependant pas la faible consommation du lot M_6 , bien que d'autres auteurs aient observé des diminutions semblables de la consommation quand le niveau protidique était très faible (BOSSHARDT et *al.*, 1946). Remarquons enfin que nos résultats sont en assez bon accord avec ceux d'ARNOULD (1961) pour lequel l'ingéré diminue en fonction du taux protidique selon une loi exponentielle lorsqu'il est rapporté au poids vif moyen de l'animal.

Nous voyons donc que l'alimentation séparée et l'alimentation mixte aboutissent à des résultats très différents en dehors du voisinage du maximum de croissance. L'apport azoté détermine des consommations d'énergie d'une manière tout à fait distincte dans les deux cas et, par suite il influence de façon dissemblable la croissance. Mais il est remarquable de constater qu'avec chaque mode d'alimentation l'indice de consommation des régimes isoénergétiques dépend essentiellement de la quantité de protéines ingérée.

En conclusion nous avons souligné l'importance des protéines sur l'efficacité

alimentaire et sur la consommation. Bien que l'apport protéique y parvienne par des voies différentes avec chaque mode d'alimentation, il détermine de la même façon l'efficacité alimentaire des régimes, mesurée à l'aide du développement pondéral.

Reçu pour publication en janvier 1965.

SUMMARY

THE ROLE OF PROTEIN IN THE UTILIZATION OF FEED BY THE CHICKEN

II. INFLUENCE OF METHOD OF DISTRIBUTION OF THE COMPONENTS OF THE FEED ON INTAKE OF ENERGY.

The influence of the system of giving protein, either separately or mixed with rest of diet, on intake of energy, growth and efficiency of feed utilization by the chicken was studied.

Chickens caged individually were given semi-purified diets supplying equal energy from 4 to 7 weeks of age. In the first trial proteins were given in limited amounts, from 1 to 20 g per chicken per day, in one feeder, and the complementary nitrogen-free diet was given to appetite in another feeder; the birds had simultaneous access to both feeders. As found in previous work (GUILLAUME, FENDRY, 1964), there was a linear relation between the amount of protein given in this way and the protein content of total feed intake. In the second trial this relation was used to choose the protein contents of the complete diets which were obtained by mixing the nitrogen-free diet and the proteins; these protein contents range from 6 to 38 per cent.

Weight gain and intake of feed per unit weight gained were greater with the complete diet during the first week and during the third week they were greater with the separate feeding (fig. I2 et I3).

Intake of energy was influenced by both the protein content and the amount of protein given. The relation between intakes of nitrogen and of total feed differed according to the method of feeding (fig. 3.)

When the results were compared on the basis of equal intake of protein it seemed that the chickens ate less of the nitrogen-free diet with separate than with complete feeding. Consequently, growth and efficiency of feed utilization were generally lower with separate feeding. But when the results were compared on the basis of equal gain in weight the reverse was true; growth and efficiency (fig 2) were lower with complete feeding. In both cases, the differences became less near maximum growth.

With complete feeding ratio of intake of feed to body weight and protein efficiency ratio developed in a similar way (fig. 3 and fig. 4) when the protein content increased. With separate feeding intake of feed increased continuously according to an hyperbolic curve (fig. 3).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNOULD R., 1961. L'utilisation des protéines pour la croissance. *Thèse, Université de Louvain* (Belgique).
- BARNES R. H. et BOSSHARDT D. K., 1946. The evaluation of protein quality in normal animal. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **47**, 279.
- BOSSHARDT D. K., PAUL W., O'DOHERTY K., BARNES R. H., 1946. The influence of caloric intake on the growth utilization of dietary protein. *J. Nutr.*, **32**, 641-651.
- CALET C., 1961. Étude de quelques facteurs d'ordre nutritionnel qui retentissent sur l'appétit des volailles. *Journées scientifiques de l'Aviculture*, 37-57. Paris, 30 nov-2 déc. 1961. Groupe Français W. P. S. A.
- CALET C., JOUANDET C., BARATOU J., 1961. Variations de la consommation spontanée d'énergie du poussin en fonction de la nature des matières azotées du régime. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **1**, 1-9.
- CALET C., MELOT M., 1961. Efficacité comparée pour la croissance du poussin de la méthionine et du sel de calcium de l'acide hydroxyméthylthiobutyrique (MHA). *Ann. Zootech.*, **1**, 205-213.
- CALET C., BARATOU F., 1963. Le rôle des protéines comme facteur d'appétence pour les calories chez le poulet en croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3** (n° h. s. i.), 103-106.
- CALET C., GUILLAUME J., DELPECH P., JACQUOT R., 1964. Le rôle des protides dans l'utilisation des nutriments énergétiques chez le Poussin. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **258**, 3104-3106.

- COMBS G. F., 1961. Feed formulation in poultry. *Journées scientifiques de l'Aviculture*. 77-81 Paris, 30 nov.-2 déc. 1961. Groupe français W. P. S. A.
- GUILLAUME J., CALET C., 1964. Le rôle des protéides dans l'utilisation des aliments du poussin. I. Limites supérieures de l'efficacité azotée et énergétique mesurée à partir de la composition corporelle de l'animal. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **4**, 63-68.
- GUILLAUME J., FENDRY M., 1964. Modes d'expression de l'ajustement des besoins énergétiques et azotés chez le poussin. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **4**, 95-97.
- HALPERN B. P., BERNARD R. A., KARE N. R., 1962. Aminoacides as gustatory stimuli in the rat. *J. Gen. Physiol.*, **45**, 681-701.
- HENRY Y., RÉRAT A., 1963. Influence de la qualité et de la quantité des matières azotées ingérées sur la consommation spontanée d'énergie chez le rat en croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **2**, 267-276.
- HILL F. W., DANSKY L. M., 1954. Studies on the energy requirements of chickens. I. The effect of dietary energy level on growth and feed consumption. *Poult. Sci.*, **33**, 112-119.
- KLEIBER M., 1945. Dietary deficiencies and energy metabolism. *Nutr. Abstr. Rev.*, **15**, 207-222.
- MAC KITTRICK D. S., 1947. The selection of chicks for growth experiments and the evaluation of growth. *Growth*, **11**, 89-99.
- MAYER J., 1958. La régulation de l'appétit. *XX^e Congrès Intern. Physiol.*, Bruxelles, 138-158.
- PERETIANU J., ABRAHAM J., 1963. Nouvelle technique de mesure du coefficient d'efficacité protéique. *Ann. Nutr. Alim.*, **17**, 81-102.
- RÉRAT A., HENRY Y., 1963. Étude de l'ajustement de la consommation spontanée d'énergie en fonction de l'apport azoté chez le rat en croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, 263-298.
-