Protéines alimentaires et qualité de l'œuf.

I. — Effet de quelques protéines sur la qualité interne de l'œuf et les propriétés fonctionnelles

B. SAUVEUR, Alicja ZYBKO (*) et B. COLAS (**)

avec la collaboration technique de Maryse GARREAU et J. ROCARD

*Station de Recherches Avicoles
Centre de Tours, I.N.R.A.,
Nouzilly, 37380 Monnaie (France)*

Résumé

Cent quarante-quatre poules Warren, productrices d'œufs colorés, ont été utilisées pour tester les effets éventuels de protéines alimentaires autres que le tourteau de soja sur quelques paramètres qualitatifs de l'œuf entier (poids, résistance de la coquille à la rupture, unités HAUGH, fréquence des inclusions) et sur certaines propriétés fonctionnelles (pouvoir moussant du blanc, pouvoir émulsifiant du jaune).

Trois séries différentes de comparaisons alimentaires ont été réalisées, chacune s'étendant sur une période de 6 semaines et comparant 2 sources protéiques nouvelles à du tourteau de soja : pois et féverole (30 p. 100, 15 p. 100) de 23 à 29 semaines d'âge, farine de poisson Norvège 70 (10 p. 100) et protéine de luzerne PX 1 (6 p. 100) de 41 à 47 semaines, farine de viande 50 (10 p. 100) et algues spirulines (11,5 p. 100) de 48 à 54 semaines.

Compte tenu des niveaux d'incorporation utilisés, le pois et la féverole n'altèrent en rien les paramètres mesurés, si ce n'est — encore que très faiblement — le pouvoir émulsifiant du jaune. La farine de poisson tend à réduire la fréquence des inclusions. Les protéines de luzerne, outre leur effet attendu sur la coloration du jaune, tendent également à diminuer les inclusions et améliorent la stabilité des mousses de blanc et la stabilité des émulsions de jaune. Le plus grand nombre d'effets positifs revient à la farine de viande qui réduit la fréquence d'œufs micro-fêlés, augmente légèrement la coloration du jaune, améliore la densité et la stabilité des mousses de blanc ainsi que la stabilité des émulsions de jaune. Les algues spirulines entraînent une augmentation des unités HAUGH et une coloration très intense du jaune.

Le vieillissement de l'œuf (3 sem à 18 °C) annule tous les effets nutritionnels observés sur le blanc et entraîne en tant que tel une forte diminution de densité et une perte de stabilité des mousses de blanc. Le vieillissement de la poule interagit sur ce dernier critère avec le stockage de l'œuf et produit, en soi, une forte augmentation de densité des mousses.

Ces résultats sont discutés à la fois par rapport aux effets déjà connus des matières pre-

(*) Adresse actuelle : Zakład Hodowli Drobiu, Instytut Zootechniki, 32 083 Balice k., Krakowa (Pologne).

(**) École Nationale Supérieure de Biologie Appliquée à la Nutrition et l'Alimentation (E.N.S.B.A.N.A.), 21000 Dijon (France).

nières choisies sur la production de l'œuf et par rapport au contrôle biochimique des propriétés fonctionnelles du blanc. L'absence de toute référence bibliographique sur le contrôle nutritionnel de ces propriétés est particulièrement remarquable.

Introduction

Depuis une dizaine d'années, de multiples travaux ont été consacrés à la recherche de nouvelles sources de protéines pouvant se substituer partiellement ou en totalité au tourteau de soja dans l'alimentation des animaux monogastriques. Parmi ces derniers, les poules pondeuses ont été largement utilisées et on connaît assez bien aujourd'hui les effets de nombreuses sources de protéines sur le nombre d'œufs produits ou le poids moyen de l'œuf. L'action éventuelle de ces protéines sur la solidité de la coquille ou la qualité interne de l'œuf (qualité de l'albumen, présence d'inclusions, par exemple) a beaucoup moins retenu l'attention; enfin, les propriétés fonctionnelles de l'œuf (pouvoir moussant du blanc, pouvoir émulsifiant du jaune) ont été encore plus délaissées puisqu'il n'existe, à notre connaissance, aucun travail reliant la nature des protéines du régime aux dites propriétés.

Cette situation n'est en réalité pas nouvelle puisque, depuis l'introduction des unités HAUGH (1939) comme moyen de contrôle de la qualité d'albumen, très peu de travaux ont pu démontrer un effet de l'apport protéique sur ce critère. Il est généralement admis que, lorsque le taux protéique du régime s'accroît de 11-13 à 17-18 p. 100, le score moyen d'unités HAUGH des œufs diminue de 2 à 4 points (HARMS et DOUGLAS, 1960; SMITH et CHANCEY, 1967; AITKEN, DICKERSON et GOWE, 1973). Il convient cependant de considérer ce résultat avec prudence car, d'une part il n'a pas été retrouvé par d'autres auteurs (MAC INTYRE et AITKEN, 1959; COMBS et HELBACKA, 1960; AITKEN *et al.*, 1972), d'autre part il s'accompagne toujours, lorsqu'il existe, d'un accroissement d'intensité de ponte et du poids de l'œuf. Cette relation inverse entre unités HAUGH et niveau de production n'est pas un effet spécifique du taux protéique alimentaire et plusieurs études ont révélé un accroissement des unités HAUGH lors d'une baisse de production due à des facteurs aussi divers qu'un apport calcique insuffisant (PEPPER, WINGET et SLINGER, 1961) ou un fractionnement des programmes lumineux (BELL et MORENG, 1973). Il semble donc qu'à intensité de ponte supposée constante, le taux protéique des régimes n'agisse pas spécifiquement sur la qualité de l'albumen mesurée en unités HAUGH. Selon BUTTS et CUNNINGHAM (1972), il agirait cependant sur le pouvoir foisonnant du blanc mesuré par le volume de gâteaux de Savoie, ce dernier s'accroissant d'environ 10 p. 100 lorsque l'apport protéique passe de 12 à 18 p. 100; aucun autre travail ne permet de confirmer ou d'infirmer ce résultat. Enfin, il faut préciser que toutes les études rappelées ci-dessus ont été effectuées avec des poules White Leghorn productrices d'œufs blancs et qu'on ignore tout des réponses en ce domaine de poules de type Rhode Island Red productrices d'œufs colorés.

L'influence éventuelle de la nature des protéines est encore plus mal connue que celle du taux protéique. Seuls les effets positifs des solubles de distillerie et des drèches de brasserie sur les unités HAUGH ont été clairement démontrés durant ces dernières années (HAZEN et WALDROUP, 1972; DAMRON, ELDRED et

HARMS, 1976; JENSEN, CHANG et MAURICE, 1976); encore s'agit-il peut-être d'une action d'oligo-éléments minéraux présents dans ces matières premières (JENSEN, 1978; JENSEN *et al.*, 1978 *a* et *b*).

Dans ce cadre, nous avons donc voulu étudier avec plus de détails les effets éventuels de différentes protéines sur la qualité interne de l'œuf et ses propriétés fonctionnelles afin de savoir si ces matières premières pouvaient être utilisées en substitution du tourteau de soja sans nuire à la qualité de l'œuf. Pour cette première série d'études, les matières premières suivantes ont été retenues : 3 protéines végétales (2 légumineuses : pois et féverole et concentré de jus de luzerne), 2 protéines animales (farine de viande et de poisson) et 1 protéine d'organisme unicellulaire (algues Spirulines). L'effet de l'âge de la poule sur les propriétés fonctionnelles de l'œuf (avec alimentation constante de type « maïs-blé-soja ») a également été surveillé, compte tenu de l'absence de toute donnée sur ce sujet. La répercussion des traitements réalisés sur les caractéristiques sensorielles de l'œuf est exposée par ailleurs (COLAS *et al.*, 1979).

Matériel et méthodes

Animaux et conditions d'élevage

144 poulettes Warren ISA ont été placées en cages individuelles d'une même batterie à l'âge de 18 semaines; elles recevaient à ce stade 80 g/jour/animal d'un aliment commercial de type poulette supplémenté à partir de la 21^e semaine d'âge par des coquillages disposés sur l'aliment. La quantité d'aliment distribuée a été augmentée chaque semaine de 10 g/jour/animal; la distribution *ad libitum* d'aliments expérimentaux a commencé lors de la 23^e semaine d'âge.

La durée d'éclairement, égale à 13 h 30/jour à 18 semaines, a été accrue d'un quart d'heure/semaine jusqu'au palier de 14 h 15/jour; à partir de 35 semaines, la période claire a de nouveau crû d'une demi-heure/semaine jusqu'au palier définitif de 16 h/jour.

Aliments

Trois séries différentes de comparaisons d'aliments ont été réalisées, chacune s'étendant sur une période de 6 semaines. Dans les 3 cas, un régime témoin à base de tourteau de soja a été comparé selon le schéma suivant à 2 autres régimes incluant des sources de protéines :

Age des animaux (semaines)	Sources de protéines comparées au tourteau de soja
1 ^{re} Série : 23-29	Pois — féverole
2 ^e Série : 41-47	Farine de poisson — protéine de luzerne PX 1 (1)
3 ^e Série : 48-54	Farine de viande — algues spirulines (2)

(1) France-Luzerne, 11, rue de Madrid, 75005 Paris.

(2) Sosa Texcoco, Sullivan S 1, Mexico 6 DF.

TABLEAU I
Composition des régimes utilisés (p. 100)
Ingredients of diets (p. 100)

Régimes ⁽¹⁾ (Diets)	Soja Soybean meal	Pois Field peas	Féverole Field beans	Poisson Fish meal	Protéine de luzerne PX 1 Lucerne protein	Viande Meat and bone meal	Algues spirulines Spiruline algae
Matières premières (Ingredient)							
Mais (Corn)	42,7	28,0	33,0	50,0	43,0	45,0	43,0
Blé (Wheat)	28,0	20,0	25,0	21,0	28,2	27,0	30,0
Huile de maïs (Corn oil)	—	3,2	1,7	—	—	—	—
Tourteau de soja 50 (Soybean meal)	14,3	4,0	9,0	—	8,0	4,0	2,4
Pois (Field peas)	—	30,0	—	—	—	—	—
Féverole (Field beans)	—	—	15,0	—	—	—	—
Farine de poisson 70 (Fish meal)	—	—	—	10,0	—	—	—
Protéine de luzerne PX 1 (Lucerne protein)	—	—	—	—	6,0	—	—
Farine de viande 50 (Meat and bone meal)	—	—	—	—	—	10,0	—
Algues spirulines (Spiruline algae)	—	—	—	—	—	—	11,5
Farine de luzerne (Lucerne meal)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	—
Chlorure de sodium (NaCl)	0,2	0,2	0,2	—	0,2	0,2	0,2
Bicarbonate de sodium (NaHCO ₃)	0,3	0,3	0,3	—	0,3	0,2	—

Carbonate de calcium ($CaCO_3$)	8,0	8,1	8,2	8,1	7,7	6,37	8,62
Phosphate bicalcique ($CaHPO_4$)	1,54	1,35	1,30	—	1,64	—	0,9
Oligo-éléments (<i>Trace minerals</i>)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Vitamines (<i>Vitamin mixture</i>)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DL Méthionine	0,06	0,05	0,085	—	0,06	0,06	—
Cellulose	—	—	1,315	6,0	—	2,27	2,48
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Caractéristiques calculées (*Calculated composition*)

	II 410	II 260	II 270	II 370	II 330	II 330	II 450
Énergie métabolisable (kJ/kg) (<i>Metabolisable energy</i>)	150	151	151	150	150	150	150
Matières azotées totales (g/kg) (<i>Crude protein</i>)	7,3	8,7	7,8	8,1	7,4	6,8	7,8
Lysine (g/kg)	3,0	3,0	3,0	3,5	3,1	3,1	3,9
Méthionine (g/kg)	5,8	5,2	6,0	6,1	5,8	5,8	5,7
Acides aminés soufrés (g/kg) (<i>Methionine + cystine</i>)	35,1	35,1	35,3	35,1	35,1	35,1	35,1
Calcium (g/kg)	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	5,5	3,6
Phosphore disponible (g/kg) (<i>Available phosphorus</i>)							

(¹) Chaque régime est nommé par la source de protéines autre que le tourteau de soja (*Each diet is named by the protein source added to soybean meal*).

TABLEAU 2
Caractéristiques retenues pour les sources de protéines utilisées
Composition of protein sources

	Soja Soybean meal	Pois Field peas	Féverole Field beans	Poisson Fish meal	Protéine de luzerne PX 1 Lucerne protein	Viande Meat and bone meal	Algues spirulines Spiruline algae
Énergie métabolisable (kJ/kg) (<i>Metabolisable energy</i>)	10 530	9 610	10 450	13 380	9 200	8 030	10 450
Matières azotées (g/kg) (<i>Crude protein</i>)	490	250	260	720	500	500	550
Lysine (g/kg)	33	18	16	54	37	27	40
Méthionine (g/kg)	7	4	2	20	8	6,5	20
Acides aminés soufrés (g/kg) (<i>Methionine + cystine</i>)	14,5	6	7	27	15,5	11,7	28
Calcium (g/kg)	2,4	1	1	35	17	100	1
Phosphore disponible (g/kg) (<i>Available phosphorus</i>)	2,7	2,3	0,5	32	0,9	50	13,5

Chaque régime a été distribué à 48 poules divisées en 3 répétitions réparties entre les 3 étages de la batterie (dispositif en blocs). Les poules recevant le régime témoin « soja » ont été tirées au sort dans chacune des 3 séries de comparaisons. Entre la 1^{re} et la 2^e série, tous les animaux ont reçu un régime commercial de type « poule pondeuse ». La composition des régimes ainsi que leurs caractéristiques calculées sont données dans le tableau 1. Le tableau 2 indique les valeurs des caractéristiques de chaque source protéique retenues pour ces calculs. Chaque source de protéine a été incorporée à un niveau compatible avec une production d'œufs normale, à savoir : pois, 30 p. 100 (BELLEC, 1975; GUILLAUME, 1977 et 1978); féverole, 15 p. 100 (DAVIDSON, 1972 et 1977; GUILLAUME, 1977); farine de poisson (Norvège 70) et farine de viande 50,10 p. 100 (BOLTON et BLAIR, 1974; SCOTT, NESHEIM et YOUNG, 1976); protéine de luzerne PX 1, 6 p. 100 (CALET, BLUM et LECLERCQ, 1975); algues spirulines, 11,5 p. 100 (BLUM, GUILLAUMIN et CALET, 1975).

Lorsque le niveau d'apport ne permettait pas d'atteindre un contenu en protéines du régime égal à 150 g/kg, le complément d'apport protéique a été assuré dans tous les cas par du tourteau de soja. Les régimes ont été équilibrés pour leur contenu en énergie (voisin de 11 300 kJ/kg), protéines (150 g/kg), lysine, méthionine, calcium et phosphore disponible ⁽¹⁾. Les seules exceptions inévitables ont été :

— des apports de méthionine plus élevés avec la farine de poisson et les algues spirulines;

— un apport de phosphore plus élevé avec la farine de viande.

Mesures

Critères de production

Après 4 semaines d'adaptation aux régimes on a enregistré pendant 2 semaines la ponte journalière individuelle et la consommation globale de chaque répétition.

Qualité de l'œuf entier

Dans le même délai que ci-dessus 3 œufs de chaque poule ont été utilisés le lendemain de la ponte pour les mesures suivantes : poids, résistance de la coquille à la rupture (appareil Instron 1140 avec tête de lecture 0-5 kg; vitesse de déplacement du piston, 0,5 mm/mn) unités HAUGH et coloration du jaune (index colorimétrique Roche). On a également enregistré le nombre de poules ayant déjà 1, 2 ou 3 œufs cassés ou micro-fêlés lors de la mesure de résistance de la coquille à la rupture. Enfin, la présence de taches de viande ou de sang a été relevée et l'importance de ces taches notée de 1 (tache unique < 1 mm) à 4 (taches multiples et grosses). Trois autres œufs de chaque poule ont été conservés 21 jours à la température ambiante, période après laquelle des mesures d'unités HAUGH ont été répétées.

⁽¹⁾ Phosphore disponible calculé selon la méthode habituelle pour les volailles en estimant que le phosphore d'origine végétale n'est disponible qu'à 30 p. 100.

Pouvoir moussant du blanc

Le pouvoir moussant a été mesuré pour chaque traitement sur 9 échantillons de 300 ml résultant du mélange des blancs de 10 œufs et totalement exempts de traces de jaune. Chaque échantillon a été battu 3 mn à vitesse moyenne, puis 3 mn à vitesse maximale (bateur Kenwood Major) en l'absence de tout additif; des carottes de mousse de 450 ml ont été prélevées, dont on a mesuré la densité. Ces carottes ont ensuite été disposées sur des entonnoirs et l'écoulement de blanc mesuré après 30, 45 et 60 mn afin de chiffrer la stabilité de la mousse formée. Ces opérations ont été effectuées à la température du laboratoire (voisine de 20 °C) le lendemain de la ponte et après une conservation de l'œuf de 21 jours à 18 °C.

Pouvoir émulsifiant du jaune

Le pouvoir émulsifiant a été estimé à la fois par la capacité émulsifiante du jaune et par la stabilité d'une émulsion de composition connue. La capacité émulsifiante correspond à la quantité d'eau à ajouter à une émulsion eau dans huile ($E/H = 2$ g de jaune + 16 g d'huile de maïs) pour obtenir une inversion de phase, le point d'inversion étant apprécié soit visuellement (apparence opaque et aqueuse pour l'émulsion H/E), soit par mesure de la conductivité électrique (COTTERILL, GLAUERT et BASSETT, 1976). La stabilité d'une émulsion de composition connue (12 g de jaune + 12 g d'huile de maïs + 68 g d'eau, homogénéisation 2 mn) est mesurée par le volume de phase aqueuse séparée après 120 mn de repos (VARADARAJULU et CUNNINGHAM, 1972 a). Dans la série 1, l'homogénéisation a été obtenue à l'aide d'un broyeur Virtis 23; dans les séries 2 et 3, un appareil Polytron a été utilisé. Pour chaque traitement, la mesure du pouvoir émulsifiant (capacité et stabilité) a été répétée 6 fois sur un échantillon représentatif de 6 jaunes.

Résultats

Dans tout ce qui suit on appellera régime « pois », « féverole », etc., les régimes dont la source de protéine autre que le tourteau de soja est constituée respectivement par de la farine de pois, de féverole, etc.

Critères de production

Compte tenu du dispositif expérimental utilisé (48 poules par traitement et 2 semaines d'enregistrement seulement suivant 4 semaines d'adaptation), il est évident que les présents résultats ne permettent pas de chiffrer avec précision l'effet des régimes sur la productivité des animaux. Tel n'était d'ailleurs pas le but de ces essais et les critères de production figurant au tableau 3 ne sont donc donnés qu'à titre indicatif.

La 1^{re} série d'essais est intervenue pendant la phase ascendante de la courbe de ponte; l'intensité de ponte paraît légèrement abaissée par le régime « pois » comparé au témoin « soja » sans qu'il soit possible de conclure statistiquement

TABLEAU 3

 Production d'œufs et consommation d'aliment suivant la source de protéine du régime ⁽¹⁾

Egg production and feed consumption

Régimes <i>Diets</i>	Intensité de ponte (%) <i>Laying rate</i> (²)	Ingéré d'aliment (g/j/poule) <i>Feed intake</i>	Indice de consommation (g aliment / œuf) <i>Feed conversion</i> (g feed/egg)
1^{re} Série (27 sem d'âge) :			
Tourteau de soja 50 (<i>Soybean meal</i>)	94,4 ± 1,2 ⁽⁴⁾	135,9 ± 1,3	144,1 ± 3,2
Pois (30 p. 100) (<i>Field peas</i>)	86,3 ± 2,4	132,0 ± 3,2	153,2 ± 6,3
Féverole (15 p. 100) (<i>Field beans</i>)	90,1 ± 2,3	132,7 ± 2,3	147,2 ± 1,2
P ⁽³⁾	< 0,10	NS	NS
2^e Série (45 sem d'âge) :			
Tourteau de soja 50 (<i>Soybean meal</i>)	86,1 ± 1,4	131,8 ± 0,8	153,1 ± 2,4
Farine de poisson 70 (10 p. 100) (<i>Fishmeal</i>)	82,6 ± 5,6	122,6 ± 4,8	149,2 ± 6,1
Protéine de luzerne (6 p. 100) (<i>Lucerne protein</i>)	85,4 ± 0,2	135,4 ± 2,6	158,7 ± 3,2
P	NS	< 0,05	NS
3^e Série (52 sem d'âge) :			
Tourteau de soja 50 (<i>Soybean meal</i>)	76,7 ± 3,3	116,8 ± 2,7	152,7 ± 6,7
Farine de viande 50 (10 p. 100) (<i>Meat and bone meal</i>)	77,2 ± 1,1	119,8 ± 0,6	155,2 ± 2,8
Spirulines (11,5 p. 100) (<i>Spiruline algae</i>)	77,3 ± 1,3	115,5 ± 1,5	149,4 ± 4,5
P	NS	NS	NS

⁽¹⁾ Données enregistrées pendant 2 semaines après 4 semaines d'adaptation aux régimes (2 weeks data after 4 weeks of adaptation).

⁽²⁾ Par rapport aux poules présentes (*Hen-day basis*).

⁽³⁾ Seuil de probabilité de l'effet « régime » lors de l'analyse de variance tenant compte du dispositif en blocs (*Probability level of "diet" effect in variance analysis taking into account a "block" effect*).

⁽⁴⁾ Valeurs de $\bar{x} \pm s/\sqrt{n}$ (Mean values $\pm$ standard error of the mean).

(0,05 < P < 0,10). Ni l'ingéré quotidien d'aliment, ni l'indice de consommation ne diffèrent significativement entre lots.

Parmi les résultats de la 2^e série, seul l'ingéré quotidien paraît significativement réduit par le régime « poisson » comparé aux 2 autres (soja et protéine de luzerne); toutefois, l'indice de consommation n'est pas significativement abaissé. Au cours de la 3^e série (soja, farine de viande, algues spirulines), aucun critère de production ne varie significativement entre régimes.

TABLEAU 4
Paramètres qualitatifs de l'œuf entier (1) $(\bar{X} \pm \sqrt{m})$
Egg quality measurements

Critères <i>Measurements</i>	Poids œuf (g) <i>Egg weight</i>	Solidité de la coquille <i>Egg shell strenght</i>			Unités Haugh <i>Haugh units</i>		Coloration jaune (Roche) <i>Yolk coloration</i>	Inclusions	
		% ♀ avec 2 ou 3 œufs cassés % ♀ with 2 or 3 bro- ken eggs (²)	% œufs cassés % broken eggs (²)	Résistance rupture (kg) <i>Breaking strength</i>	Œufs i j I d-eggs (³)	Δ (1-21 j) (³)		% œufs avec taches ≥ 2 % eggs with inclusions ≥ 2 (⁴)	% œufs avec taches % eggs with inclusions
Régimes <i>Diets</i>									
1 ^{re} Série (27 sem âge) :									
Tourteau de soja 50 (<i>Soybean meal</i>)	53,7 ± 0,4	14,6	16,7	2,68 ± 0,04	91,0 ± 0,6	27,7 ± 1,2	8,63 ± 0,06	23,8	60,8
Pois (30 p. 100) . . (<i>Fieldpeas</i>)	52,6 ± 0,4	10,6	12,2	2,74 ± 0,05	92,1 ± 0,5	28,4 ± 1,2	8,62 ± 0,06	24,8	54,6
Féverole (15 p. 100) (<i>Field beans</i>)	52,1 ± 0,4	20,8	19,9	2,72 ± 0,05	92,1 ± 0,6	27,6 ± 1,0	8,88 ± 0,07	23,2	56,3
P (²)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	< 0,10	NS	NS

2^e Série (45 sem âge) :									
Tourteau de soja 50 (Soybean meal)	62,9 ± 0,5	8,3	12,9	2,40 ± 0,05	84,1 ± 0,8	35,4 ± 0,9	7,77 ± 0,09 a	22,2	45,3
F. poisson (10 p. 100)	60,9 ± 0,6	10,2	12,8	2,31 ± 0,05	83,7 ± 0,9	37,6 ± 0,9	8,00 ± 0,10 b	13,6	36,7
Prot. luzerne (6 p. 100)	61,8 ± 0,4	9,7	11,3	2,36 ± 0,05	84,5 ± 0,7	35,9 ± 1,0	12,71 ± 0,06 c	14,6	39,8
(Alfalfa/meal)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	< 0,001	< 0,10	NS
3^e Série (52 sem âge) :									
Tourteau de soja 50 (Soybean meal)	62,2 ± 0,4	5,8	20,7 b	2,61 ± 0,06	80,1 ± 0,7 a	28,1 ± 1,0	8,20 ± 0,09 a	16,7	40,8
F. viande (10 p. 100)	62,7 ± 0,6	1,7	9,2 a	2,67 ± 0,07	81,0 ± 0,9 a	27,0 ± 1,0	8,63 ± 0,08 b	19,7	45,3
(Meat and bone m.)									
Spirulines (11,5 p. 100)	62,5 ± 0,5	2,0	14,8 ab	2,62 ± 0,06	84,6 ± 0,8 b	28,2 ± 0,9	> 15 c (e)	20,2	39,4
(Spiruline algae)	NS		< 0,02	NS	< 0,05	NS	< 0,001	NS	NS

(1) Mesures effectuées sur 3 œufs/poule, soit 144 œufs/régime (Measurements made on 3 eggs/hen, i.e. 144 eggs/diet).

(2) Œufs cassés ou micro-fêlés détectés lors de la mesure de charge de rupture (Broken or cracked eggs detected during breaking strength measurement).

(3) Variation d'unités HAUGH entre 1 et 21 jours calculée en retranchant la valeur de chaque œuf conservé de la moyenne de la poule enregistrée à 1 jour (HAUGH units variation calculated by subtracting the value for each stored egg from the mean value for the 3 fresh eggs of the same hen).

(4) Importance des taches graduée de 1 à 4 (cf. texte) (Inclusions' size graduated from 1 to 4 (see text)).

(5) Seuil de probabilité de l'effet « régime » lors de l'analyse de variance tenant compte des variations entre poules d'un même traitement qui sont significatives à $p < 0,001$ pour tous les critères étudiés; test de χ^2 pour la comparaison des pourcentages (Probability level of "diet", effect in variance analysis taking into account the variations between hens of a same treatment which were always significant at the level $p < 0,001$; χ^2 test for the comparison of percentages).

(6) Toutes valeurs au delà de l'échelle Roche (All values beyond Roche scale).

Qualité de l'œuf entier

Les résultats de chacune des 3 séries enregistrés sur 144 œufs/régime sont rapportés dans le tableau 4. Mis à part des résultats attendus sur l'augmentation très importante de coloration du jaune consécutive à l'apport de protéines de luzerne et, encore plus, d'algues spirulines, peu de variations sont notables entre les régimes. On remarque seulement :

- pour la solidité de la coquille, une réduction du nombre d'œufs microfêlés dans le lot « farine de viande » comparé au témoin « soja » ($p < 0,02$, 3^e série), sans modification simultanée de résistance à la rupture;

- pour les unités HAUGH de l'œuf d'un jour, une augmentation de 4,5 points consécutive à l'apport d'algues spirulines ($p < 0,05$, 3^e série);

- pour la coloration du jaune, hormis les 2 cas déjà cités, un léger effet favorable des farines de viande ($p < 0,05$, 3^e série) et de poisson ($p < 0,05$, 2^e série) et une tendance favorable de la féverole ($p < 0,10$, 1^{re} série);

- pour les inclusions de l'œuf, une tendance à la réduction avec la farine de poisson et les protéines de luzerne ($p < 0,10$, 2^e série).

Il est donc clair qu'aucune des protéines testées n'exerce d'effet défavorable sur les paramètres qualitatifs de l'œuf entier mesurés ici.

Pouvoir moussant du blanc

Compte tenu du peu d'informations existantes sur le contrôle de ce paramètre au niveau de l'animal (en particulier quant aux effets de l'âge et de l'alimentation), les résultats de pouvoir moussant du blanc ont été analysés avec le maximum de détails et sont rapportés dans les tableaux 5, 6 et 7. Pour la 1^{re} série (tabl. 5), l'incorporation au régime de pois ou de féverole, comparée à celle de soja, ne modifie ni la densité ni la stabilité de la mousse et ce, tant sur l'œuf frais qu'après conservation de 3 semaines; les régimes n'affectent pas non plus les variations observées entre les œufs de 1 et de 21 jours. A l'opposé, le vieillissement de l'œuf en tant que tel se traduit par des variations hautement significatives ($p < 0,001$) des propriétés moussantes, à savoir :

- un abaissement de densité de la mousse;
- une perte de stabilité à peu près constante, quel que soit le temps d'écoulement accordé.

Dans la 2^e série étudiée (tabl. 6), la densité de mousse ne varie pas significativement entre régimes. A l'opposé, la distribution de protéines de luzerne entraîne une augmentation de stabilité de la mousse formée avec les blancs d'œufs frais (réduction d'écoulement après 60 mn de 24 p. 100 par rapport au lot « soja »); cet effet favorable disparaît dans l'œuf conservé où le lot « protéine de luzerne » tend même à donner des écoulements plus importants que le lot « soja ». Cette variation d'effets entre les œufs frais et ceux conservés se traduit par un effet « régime » significatif ($p < 0,05$) dans l'étude des variations d'écoulement dues à la conservation (tabl. 6, partie inférieure) où l'on retrouve une perte de stabilité beaucoup plus élevée dans le lot « protéine de luzerne » que dans le lot « soja »

Pouvoir moussant du blanc et stabilité de la mousse - Série 1 ⁽¹⁾
Foaming power and foam stability - 1st experiment

Régimes Diets	Tourteau de soja Soybean meal	Pois Field peas	Féverole Field beans	P régime ⁽²⁾ Diet	$\bar{X}$	
Œufs de 1 j (1 day eggs):						
Densité mousse (Foam density)	0,108 ± 0,002	0,105 ± 0,003	0,105 ± 0,002	NS	0,106	Comparaison 1 vs 21 j, régimes confondus (Comparison 1 vs 21 d, all diets confounded) t paired: < 0,001 < 0,001 < 0,001 < 0,01
Écoulement (ml) (Drainage) $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mn} \dots \\ 45 \text{ mn} \dots \\ 60 \text{ mn} \dots \end{array} \right.$	1,92 ± 0,16 5,21 ± 0,26 9,00 ± 0,42	2,00 ± 0,34 5,08 ± 0,50 8,37 ± 0,70	1,75 ± 0,07 4,58 ± 0,22 8,04 ± 0,33	NS NS NS	1,90 4,95 8,47	
Œufs de 21 j (21 d eggs):						
Densité de mousse (Foam density)	0,085 ± 0,002	0,084 ± 0,001	0,084 ± 0,002	NS	0,084	
Écoulement (ml) (Drainage) $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mn} \dots \\ 45 \text{ mn} \dots \\ 60 \text{ mn} \dots \end{array} \right.$	3,05 ± 0,32 6,72 ± 0,40 10,05 ± 0,42	3,11 ± 0,36 6,72 ± 0,48 10,00 ± 0,51	3,33 ± 0,33 7,00 ± 0,46 10,17 ± 0,51	NS NS NS	3,17 6,81 10,07	
Δ (21-1 j):						
Densité mousse (Foam density)	— 0,023	— 0,022	— 0,021	NS	— 0,022	P durée d'écoulement (Length of drainage period) ⁽³⁾
Écoulement (ml) (Drainage) $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mn} \dots \\ 45 \text{ mn} \dots \\ 60 \text{ mn} \dots \end{array} \right.$	1,10 1,52 1,06 1,23	1,11 1,64 1,63 1,46	1,59 2,42 2,13 2,04	NS NS NS NS	1,27 1,86 1,60	NS
	P régime ⁽³⁾ = NS (Diet)				Inter- action NS ⁽³⁾	

⁽¹⁾ Valeurs de $\bar{X} \pm s/\sqrt{n}$, chacune calculée sur 9 battages de 300 ml de blanc (Mean values estimated from 9 beatings, each made on 300 ml of egg white).

⁽²⁾ Analyse de variance intra-ligne (Intra-row analysis of variance).

⁽³⁾ Analyse de variance globale des changements d'écoulement dus à la conservation de l'œuf (Analysis of variance for changes in drainage volumes dues to egg storage).

TABLEAU 6
Pouvoir moussant du blanc et stabilité de la mousse - Série 2 ⁽¹⁾
Foaming power and foam stability - 2nd experiment

Régimes Diets	Tourteau de soja Soybean meal	Farine de poisson Fish meal	Protéine de luzerne Lucerne proteine	P régime ⁽²⁾ Diet	$\bar{X}$	
Œufs de 1 j (1 day eggs) :						
Densité mousse (Foam density)	0,131 ± 0,006	0,121 ± 0,004	0,133 ± 0,004	NS	0,128	Comparaison 1 vs 21 j, régimes confondus Comparison 1 vs 21 d, all diets confounded
Écoulement (ml) (Drainage) { 30 mn . . . 3,06 ± 0,32		3,16 ± 0,31	2,28 ± 0,30	NS	2,83	
45 mn . . . 5,94 ± 0,46 b		5,78 ± 0,47 b	4,28 ± 0,49 a	< 0,05	5,41	
60 mn . . . 8,94 ± 0,52 b		9,05 ± 0,48 b	6,83 ± 0,58 a	< 0,05	8,20	
	(⁴)					t paired:
Œufs de 21 j (21 d eggs) :						
Densité mousse (Foam density)	0,088 ± 0,002	0,090 ± 0,001	0,088 ± 0,002	NS	0,088	< 0,001 < 0,05 < 0,01 < 0,01
Écoulement (ml) (Drainage) { 30 mn . . . 2,92 ± 0,30		4,33 ± 0,73	4,75 ± 0,62	< 0,10	4,00	
45 mn . . . 6,50 ± 0,62		8,50 ± 0,92	8,75 ± 0,69	NS	7,92	
60 mn . . . 9,83 ± 0,75		11,75 ± 0,97	12,25 ± 0,88	NS	11,28	
Δ (21-1 j) :						
Densité mousse (Foam density)	— 0,043	— 0,032	— 0,044	NS	— 0,040	P durée d'écoulement (Length of drainage period) ⁽³⁾
Écoulement (ml) (Drainage) { 30 mn . . . — 0,14		1,16	2,47	< 0,10	1,17 a	< 0,01
45 mn . . . 0,33 a		2,72 ab	4,47 b	< 0,05	2,51 b	
60 mn . . . 1,00 a		2,70 ab	5,53 b	< 0,05	3,08 b	
		0,40 a	4,16 c			
	P régime ⁽³⁾ = < 0,001 (Diet)				Inter- action NS ⁽²⁾	

⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾ Cf. tableau 5.

⁽⁴⁾ A l'intérieur de chaque ligne les valeurs suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité 0,05 (Values inside the same row followed by the same letter did not significantly differ at the probability level of 0.05).

TABLEAU 7

Pouvoir moussant du blanc et stabilité de la mousse - Série 3 ⁽¹⁾
Foaming power and foam stability - 3rd experiment

Régimes Diets	Tourteau de soja Soybean meal	Farine de viande Meat and bone meal	Spirulines Spiruline algae	P régime ⁽²⁾ Diet	$\bar{X}$	
Œufs de 1 j (1 day eggs) :						
Densité mousse (Foam density)	0,156 ± 0,009b ⁽⁴⁾	0,127 ± 0,004a	0,161 ± 0,009b	< 0,05	0,148	Comparaison 1 vs 21 j, régimes confondus (Comparison 1 vs 21 d, all diets confounded)
Écoulement (ml) (Drainage) $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mn} \dots 3,94 \pm 0,80 b \\ 45 \text{ mn} \dots 5,50 \pm 0,85 b \\ 60 \text{ mn} \dots 7,05 \pm 0,88 b \end{array} \right.$		1,89 ± 0,22 a 3,06 ± 0,27 a 4,28 ± 0,35 a	± 0,52 b ± 0,63 b ± 0,73 b	< 0,05 < 0,05 < 0,05	3,09 5,18 5,87	t paired:
Œufs de 21 j (21 d-eggs) :						
Densité mousse (Foam density)	0,085 ± 0,001	0,082 ± 0,001	0,084 ± 0,001	NS	0,084	< 0,001
Écoulement (ml) (Drainage) $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mn} \dots 2,39 \pm 0,25 \\ 45 \text{ mn} \dots 5,22 \pm 0,35 \\ 60 \text{ mn} \dots 8,28 \pm 0,46 \end{array} \right.$		2,11 ± 0,25 4,78 ± 0,46 7,76 ± 0,55	± 0,37 ± 0,60 ± 0,64	NS NS NS	2,28 4,92 7,83	NS NS < 0,05
Δ (21-1 j) :						
Densité mousse (Foam density)	— 0,071	— 0,045	— 0,077	NS	— 0,064	P durée d'écoulement (Length of drainage period) ⁽³⁾
Écoulement (ml) (Drainage) $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mn} \dots 1,56 \\ 45 \text{ mn} \dots 0,28 \\ 60 \text{ mn} \dots 1,23 \\ \bar{X} \dots 0,2 \end{array} \right.$		0,22 — 0,16 3,50 1,18	— 1,1 — 0,34 1,16 — 0,09	NS NS NS NS	— 0,81 a — 0,26 a 1,96 b	< 0,05
	P régime ⁽²⁾ = NS (Diet)				Inter- action NS ⁽²⁾	

⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾ Cf. tableau 5.

⁽⁴⁾ Cf. tableau 6.

(respectivement 5,5 ml et 1,0 ml après 60 mn). Le lot « farine de poisson » ne diffère en aucun cas du témoin « soja ».

Si l'on fait abstraction des régimes, la conservation de l'œuf en tant que telle se traduit, comme précédemment, par un abaissement de densité et de stabilité. A noter toutefois que, dans le cas présent, la perte de stabilité due au stockage augmente significativement avec le temps d'écoulement (+ 1,1 et + 3,1 ml pour 30 et 60 mn respectivement). Ce fait sera revu ultérieurement, compte tenu du vieillissement des poules entre les 2 séries d'essais.

Dans la 3^e série de comparaisons (tabl. 7), l'incorporation au régime de 10 p. 100 de farine de viande 50 entraîne un allègement de la mousse et une augmentation de sa stabilité ($p < 0,05$) lorsque l'on considère les œufs de 1 jour (l'amélioration est de 19 et 39 p. 100 respectivement par rapport au lot « soja »); ces effets disparaissent totalement lorsque les œufs sont conservés 21 jours avant utilisation. Les algues spirulines ne conduisent quant à elles à aucune différence par rapport au témoin « soja ».

L'effet propre de l'âge de l'œuf (indépendamment des régimes) diffère légèrement dans cette série de celui observé précédemment; en effet, si la diminution de densité de mousse reste un fait constant, on n'observe plus après stockage d'augmentation d'écoulement après 30 et 45 mn, mais seulement après 60 mn.

Il apparaît donc que l'effet du vieillissement de l'œuf sur les propriétés moussantes du blanc varie avec l'âge de la poule. Ce phénomène peut être étudié plus précisément en considérant les seuls résultats obtenus avec le régime « soja » puisque celui-ci est resté constant au cours des 3 séries de comparaisons. Les données des tableaux 5, 6 et 7 indiquent que la densité de mousse formée avec les œufs de 1 jour augmente régulièrement avec l'âge de la poule puisqu'elle passe

FIG. 1. — Effets combinés de l'âge de la poule (*) et de la conservation de l'œuf sur la stabilité des mousses formées par battage de l'albumen.

Effects of hen ageing and of egg storage at 18 °C on the stability of albumen foams.

(*) Les semaines indiquées sont des semaines de production.

de 0,108 à 0,131, puis à 0,156 après 7, 25 et 30 semaines de ponte respectivement. Simultanément, la variance de ces valeurs augmente. A l'opposé, la densité de mousse des œufs conservés échappe totalement à cette influence et reste constante autour de 0,085 avec une variance également constante.

L'évolution de la stabilité de cette mousse est plus complexe (fig. 1). Si l'on considère le cas de l'œuf frais, on observe en fonction du stade de production un accroissement d'écoulement à 30 mn et une réduction à 60 mn, ce qui entraîne une modification d'allure des courbes d'écoulement; comme il a été observé pour la densité, la variance de cette stabilité augmente aussi avec l'âge de l'animal. La stabilité des œufs conservés est beaucoup moins dépendante du facteur « période de ponte »; il en résulte (voir fig. 1) que la stabilité de mousse des œufs conservés,

TABLEAU 8

Pouvoir émulsifiant du jaune d'œufs âgés de 3 à 5 jours (1)

Emulsifying power of egg yolk, 3 to 5 day-old eggs

1 ^{re} Série (27 sem d'âge) <i>1st experiment</i>	Tourteau de soja <i>Soybean meal</i>	Pois <i>Field peas</i>	Féverole <i>Field beans</i>	P régime <i>Diet</i>
Capacité émulsifiante (2) (<i>Emulsifying capacity</i>)	5,63 ± 0,08 b	4,97 ± 0,10 a	4,99 ± 0,05 a	P < 0,001
Stabilité de l'émulsion (<i>Emulsion stability</i>)	1,00 ± 0,14	1,81 ± 0,27	1,20 ± 0,24	NS
2 ^e Série (45 sem d'âge) <i>2nd experiment</i>	Tourteau de soja <i>Soybean meal</i>	Farine de poisson <i>Fish meal</i>	Protéine de luzerne <i>Alfalfa protein</i>	
Capacité émulsifiante (<i>Emulsifying capacity</i>)	12,81 ± 0,31	12,18 ± 0,37	11,66 ± 0,32	NS
Stabilité de l'émulsion (<i>Emulsion stability</i>)	0,91 ± 0,02 b	0,95 ± 0,09 b	0,72 ± 0,04 a	P < 0,05
3 ^e Série (52 sem d'âge) <i>3rd experiment</i>	Tourteau de soja <i>Soybean meal</i>	Farine de viande <i>Meat and bone meal</i>	Spirulines <i>Spiruline algae</i>	
Capacité émulsifiante (<i>Emulsifying capacity</i>)	11,23 ± 0,16	11,65 ± 0,26	11,69 ± 0,37	NS
Stabilité de l'émulsion (<i>Emulsion stability</i>)	1,11 ± 0,07 b	0,87 ± 0,06 a	1,07 ± 0,02 b	P < 0,05

 (1) Valeurs de $\bar{x} \pm s/\sqrt{n}$.

 (2) Quantité d'eau ajoutée pour obtenir l'inversion de phase (en ml/g jaune; voir méthodes) (*Water volume added up to phase inversion (in ml/g yolk; see methods)*).

 (3) Volume d'eau séparé après 120 mn pour 15 ml d'émulsion (voir méthodes) (*Volume of aqueous phase separated after 120 mn from 15 ml emulsion (see methods)*).

comparée à celle des œufs frais, varie à la fois avec l'âge de la poule et avec le temps d'écoulement étudié. La conservation de l'œuf se traduit en effet par :

— une réduction de stabilité à 30 mn en début de ponte, mais une augmentation de cette stabilité après 30 semaines de ponte (interaction « conservation $\times$ période de ponte » significative; $p < 0,01$);

— une réduction constante de stabilité à 60 mn ($p < 0,05$).

Pouvoir émulsifiant du jaune (œuf de 3 à 5 j)

Les résultats relatifs au pouvoir émulsifiant du jaune sont donnés dans le tableau 8. Dans la 1^{re} série expérimentale (6-8 semaines après l'entrée en ponte), l'introduction de pois ou de féverole dans les régimes entraîne une réduction de capacité émulsifiante du jaune ($p < 0,001$); la stabilité des émulsions n'est pas modifiée. Au cours des 2 séries suivantes, aucune des protéines alimentaires testées ne modifie significativement la capacité émulsifiante du jaune; à l'opposé, les protéines de luzerne et la farine de viande améliorent de 21 p. 100 la stabilité des émulsions par rapport au tourteau de soja ($p < 0,05$).

En raison des modifications apportées à la technique d'émulsification entre les 2 premières séries, il n'est pas possible d'examiner l'influence du vieillissement de la poule (pour le seul régime soja) sur le pouvoir émulsifiant du jaune.

Discussion

Qualité de l'œuf entier

Il ressort des présents résultats qu'aux niveaux d'incorporation utilisés, les différentes sources de protéines alimentaires testées ici affectent peu ou pas du tout les paramètres qualitatifs de l'œuf entier retenus, à savoir : poids de l'œuf, solidité de la coquille, unités HAUGH et présence d'inclusions. Ce résultat global peut être détaillé de la façon suivante :

Protéagineux (pois et féverole)

L'incorporation à des régimes pour poules pondeuses de 30 p. 100 de pois entraîne normalement une diminution du poids de l'œuf de 1,5 à 2 g qui peut être réduite de plus de moitié par la granulation (GUILLAUME, 1977 et 1978; DAVIDSON, 1977). Dans le cas présent, le stock de pois utilisé était précisément constitué d'une partie en farine et d'une partie granulée qui ont été remélangées avant incorporation à l'aliment; le poids d'œuf enregistré (52,6 g contre 53,7 dans le lot « soja », écart non significatif) n'est donc pas surprenant. Il apparaît, en outre, que le pois n'affecte aucunement les autres critères qualitatifs.

La féverole est connue pour entraîner une baisse du poids d'œuf plus importante que le pois, surtout lorsqu'elle constitue plus de 15 p. 100 du régime (DAVIDSON, 1972; GUILLAUME, CALET et DE CARVILLE, 1973; BOUGON, 1974); cet effet a été attribué à des proanthocyanidines extractibles au méthanol absolu

(PEMA) et thermolabiles (GUILLAUME et BELLEC, 1977; GUILLAUME et GOMEZ, 1977; MARTIN-TANGUY, GUILLAUME et KOSSA, 1977). L'écart de poids d'œuf enregistré ici par rapport au lot « soja » (— 1,6 g) reflète peut-être cet effet, bien qu'il ne soit pas statistiquement significatif.

BOUGON (1974), ANDERSON (1976) et GUILLAUME et BELLEC (1977), utilisant des régimes contenant 25, 28 et 30 p. 100 de féverole respectivement, signalent une augmentation de 4 à 5 p. 100 (pas toujours significative) des unités HAUGH; ROBLEE *et al.* (1977) rapportent également que les unités HAUGH d'œufs de White Leghorn s'accroissent proportionnellement au taux d'incorporation de féverole (jusqu'à 20 p. 100) sans modification d'intensité de ponte. L'absence d'une telle observation lors des présents essais peut signifier que les poules de type Rhode Island Red seraient insensibles à moins de 15 p. 100 de féverole en ce qui concerne la qualité d'albumen. Rappelons cependant que l'essai s'est déroulé ici juste après l'entrée en ponte et que la valeur des unités HAUGH du lot témoin était déjà très élevée (> 91); l'effet bénéfique éventuel de la féverole ne se manifeste peut-être que sur un niveau de base d'unités HAUGH plus modeste. Il a été dit, par ailleurs, qu'un régime contenant 20 p. 100 de féverole tendrait à augmenter la fréquence des taches de sang et celle des œufs à double jaune (GUILLAUME, CALET et DE CARVILLE, 1973; ROBLEE *et al.*, 1977); aucun de ces 2 paramètres n'a été affecté dans le présent essai bien qu'il se soit déroulé en début de ponte.

Enfin, en accord avec les résultats de BOUGON (1974), la féverole ne paraît pas agir sur la qualité de la coquille mesurée par un test de déformation ou par sa résistance à la rupture. Il semble donc possible de conclure que, limitée à 15 p. 100 des régimes, la féverole ne nuit en rien à la qualité de l'œuf entier.

Farines animales (poisson et viande)

Très peu de travaux font état d'influence de farines animales sur la qualité de l'œuf; selon MUELLER (1956), un accroissement des unités HAUGH peut être obtenu par de la farine de viande apportée en complément d'orge et d'avoine alors qu'aucun effet n'est visible avec du maïs. COMBS et HELBACKA (1960) ne signalent aucun effet d'un mélange farine de poisson + farine de crabe sur les unités HAUGH ou la fréquence des taches de sang.

Dans les présents essais, chaque farine animale a été incorporée à un niveau élevé (10 p. 100), essentiellement en vue de l'étude des caractéristiques sensorielles de l'œuf (COLAS *et al.*, 1979). Quelques légères modifications favorables de la qualité de l'œuf sont visibles, en particulier au niveau de la coloration du jaune, de la fréquence des inclusions (farine de poisson seule) et de la fréquence des œufs micro-fêlés (farine de viande seule); ce dernier résultat est le plus surprenant compte tenu de l'apport important en phosphore des farines de viande qui devrait plutôt nuire à la solidité de la coquille.

Protéines de luzerne et algues spirulines

L'action la plus spectaculaire (mais tout à fait attendue) de ces deux sources protéiques se situe au niveau de la coloration du jaune; il est en effet connu que les valeurs d'échelle Roche atteintes se situent déjà au delà de 11 avec 1,5 p. 100 de protéines de luzerne (CALET, BLUM et LECLERCQ, 1975) et atteignent 15 avec 7 p. 100 d'algues spirulines (BLUM, GUILLAUMIN et CALET, 1975). Ces matières

premières ayant été considérées ici non comme des sources de pigments mais comme sources de protéines ont été incorporées à des niveaux plus élevés et entraînent en conséquence une coloration du jaune encore plus intense, voire inacceptable, surtout dans le cas des spirulines.

Ces dernières entraînent, par ailleurs, une amélioration significative des unités HAUGH des œufs frais, amélioration qui reste visible après 3 semaines de conservation de l'œuf; ce critère n'avait pas été pris en compte dans l'essai de BLUM, GUILLAUMIN et CALET (1975).

Pouvoir moussant du blanc

Effet des protéines alimentaires

La discussion sur ce thème est limitée par l'absence totale de bibliographie. Parmi les protéines utilisées ici, 2 améliorent les caractéristiques foisonnantes de l'œuf frais : ce sont les protéines de luzerne qui augmentent la stabilité de mousse sans modification de densité et surtout la farine de viande active à la fois sur la densité de mousse (plus basse) et sa stabilité (plus élevée). Ce dernier résultat est particulièrement intéressant et mériterait d'être vérifié d'une part sur des animaux d'origine génétique et d'âge différents, d'autre part avec des tests plus élaborés de stabilité de mousse à la cuisson.

Rappelons aussi que, dans les 2 cas, ces effets alimentaires disparaissent totalement après conservation de l'œuf pendant 3 semaines, procédé qui uniformise grandement les propriétés foisonnantes du blanc et que nous allons examiner ci-dessous.

Effets combinés du stockage de l'œuf et de l'âge de la poule

Bien que les travaux de différents auteurs soient souvent difficiles à comparer du fait de la variété des techniques utilisées, il est généralement admis que le volume de mousse formée à partir d'une quantité donnée de blanc augmente après conservation de l'œuf, cette augmentation pouvant être appréciée soit directement, soit par un abaissement de densité; l'augmentation de pH du blanc au cours du stockage paraît impliquée dans ce phénomène (voir revues de ROMANOFF et ROMANOFF, 1949; BROOKS et TAYLOR, 1955; BALDWIN, 1973). MAESSO WEDRAL, *et al.* (1971) retrouvent un résultat identique tout en ajustant le pH à 6,5 avant battage, ce qui tendrait à indiquer qu'une modification irréversible des protéines est intervenue au cours du stockage.

Les résultats présents confirment tout à fait cet effet de la conservation de l'œuf et montrent de plus que la densité de mousse obtenue dans ces conditions est totalement indépendante de celle donnée par des œufs de 1 jour. Ceci est particulièrement vrai dans les lots ne recevant que du tourteau de soja, où la densité de mousse des œufs frais s'accroît avec l'âge de la poule de 0,108 à 0,156 alors qu'elle reste fixée à 0,085 après 3 semaines de conservation à 20 °C.

Une autre conséquence du stockage de l'œuf classiquement décrite est la perte de stabilité des mousses formées, jugées par l'écoulement en 30 ou 60 mn (voir revues citées au paragraphe précédent) (*). Cette perte de stabilité n'est pas

(*) Seul JANSSEN (1971) aboutit à un résultat opposé.

un effet spécifique de la conservation mais paraît liée à l'abaissement de densité en tant que tel; lorsque celui-ci est obtenu par prolongation du temps de battage d'œufs frais, on assiste au même phénomène d'écoulement accéléré et il est connu que lorsqu'une mousse stable est désirée, le blanc ne doit pas être battu à son volume maximal (ROMANOFF et ROMANOFF, 1949, p. 394).

Cet effet du stockage de l'œuf sur la stabilité des mousses appréciée en 60 mn d'écoulement se retrouve dans les résultats exposés ici (fig. 1); on peut constater de plus que, lorsque des temps d'écoulement plus faibles sont envisagés (30 mn), il existe une interaction importante entre l'âge de la poule et celui de l'œuf et que la stabilité « à courte durée » pourrait même être améliorée par la conservation de l'œuf dans le cas des poules les plus âgées.

On peut rapprocher ces variations de pouvoir foisonnant du blanc des caractéristiques de quelques protéines de ce milieu. Il est généralement admis que l'ovomucine joue un rôle essentiel dans la stabilité des mousses formées mais n'intervient pas dans leur formation (MAC DONNEL *et al.*, 1955; NAKAMURA et SATO, 1964; GARIBALDI *et al.*, 1968). Le pouvoir moussant proprement dit (volume et densité des mousses) dépendrait quant à lui des globulines, essentiellement du lysozyme (NAKAMURA et SATO, 1964; CUNNINGHAM, 1976) et secondairement des conalbumines et ovomucoïde (NAKAMURA et SATO, 1964); les données de SAUTER et MONTURE (1972) montrent clairement que la teneur en lysozyme des œufs n'agit pas sur les volumes écoulés.

Ces deux protéines (ovomucine et lysozyme) ont par ailleurs fait l'objet de nombreuses études car leur interaction est impliquée dans la structure en gel du blanc épais (ROBINSON, 1972; ROBINSON et MONSEY, 1972). On sait, par exemple, que l'ovomucine β (la plus riche en résidus glucidiques) disparaît de la fraction du blanc précipitable par dilution au cours de la conservation de l'œuf; ce fait peut être rapproché de la baisse de stabilité des mousses issues d'œufs conservés. Il a été également montré que l'activité lysozymique des œufs diminue au cours de la saison de ponte (WILCOX, 1956) et au cours du stockage de l'œuf (FEENEY *et al.*, 1952; EVANS *et al.*, 1958). Si le premier point peut intervenir dans l'augmentation de densité de mousse observée au cours du vieillissement de l'animal, le second se trouve en opposition avec l'abaissement de densité enregistrée après conservation de l'œuf! Il serait donc trop simple de vouloir interpréter toutes les variations de densité des mousses en fonction de la seule activité lysozymique; CUNNINGHAM (1976) montre d'ailleurs que d'autres protéines, telles que les globulines A_1 et A_2 sont peut-être impliquées dans la formation des mousses.

Pouvoir émulsifiant du jaune

Selon JORDAN *et al.* (1962), la nature des graisses incorporées au régime n'agit pas sur le pouvoir émulsifiant du jaune; aucun travail similaire ne permet, à notre connaissance, de juger d'un effet éventuel de sources de protéines. D'après nos résultats, il semble que la présence de pois ou de féverole réduise très légèrement la capacité émulsifiante du jaune, en début de ponte au moins, sans modifier significativement la stabilité des émulsions formées; à l'opposé, les protéines de luzerne et la farine de viande paraissent améliorer cette stabilité.

Ce même critère peut aussi dépendre de l'âge de l'animal : VARADARAJALU et CUNNINGHAM (1972b) rapportent une amélioration de 38 p. 100 entre des œufs produits à 50 et à 75 semaines d'âge, sans modification significative entre 30 et 50 semaines. Simultanément, la viscosité du jaune augmente comme l'indiquent

aussi les travaux de LINEWEAVER *et al.* (1962); ces auteurs ne trouvent cependant pas d'améliorations des propriétés fonctionnelles jugées par test du « gâteau de Savoie ». Les résultats présentés ici ne permettent pas de juger de ce phénomène.

Conclusions

Les industriels utilisateurs de blanc d'œuf reprochent souvent à ce produit une grande variabilité de pouvoir moussant préjudiciable à des fabrications de grande série, notamment en biscuiterie. Les mesures rapportées ci-dessus ne concernent que le pouvoir moussant et la stabilité des mousses à froid; pour être plus démonstratives, elles devraient être à l'avenir complétées par des tests impliquant l'adjonction de sucre et la cuisson. Elles indiquent néanmoins que, si le pouvoir moussant du blanc varie avec l'âge de l'œuf après la ponte (ce qui était déjà connu), il dépend également du stade de ponte et, dans quelques cas, de l'alimentation des poules pondeuses.

Dans un autre domaine, nos résultats montrent que les incorporations de protéines pratiquées (pois 30 p. 100, féverole 15 p. 100, farines de viande et de poisson 10 p. 100, protéines de luzerne 6 p. 100 et algues spirulines 11,5 p. 100) n'affectent négativement aucun critère qualitatif de l'œuf — sauf peut-être le pouvoir émulsifiant du jaune pour les 2 premières — et exercent même certains effets positifs. Leur introduction dans les régimes pour poules pondeuses productrices d'œufs colorés, en substitution partielle ou totale du tourteau de soja, est donc tout à fait envisageable du point de vue de la qualité de l'œuf.

Accepté pour publication en mai 1979.

Remerciements

Les travaux rapportés ont été réalisés avec l'aide financière de la D.G.R.S.T., Action Concertée Technologie Alimentaire et Agricole, décision n° 77-7-0-605 et 606. Les Sociétés France-Luzerne et Sosa Texcoco doivent être remerciées pour la fourniture respective des protéines de luzerne P X 1 et des algues spirulines.

Summary

Dietary proteins and egg quality

I. — Effects of some protein sources on egg quality and functional properties

One hundred and forty four medium-sized laying hens (producing brown-shelled eggs) were used in order to evaluate the possible effects of different dietary protein sources on some egg quality traits (egg weight, shell breaking strength, HAUGH units, frequency of blood spots) and on some functional properties: foaming power of albumen (density and stability) and emulsifying capacity of yolk (including emulsion stability).

Three successive experiments were conducted, each of them aiming at comparing 2 protein sources to soybean meal during a 6 week-period. These proteins were: field peas (30 p. 100) and field beans (15 p. 100) from 23 to 29 weeks (age of birds); Norway fish meal 70 (10 p. 100) and lucerne protein concentrate P X 1 (6 p. 100) from 41 to 47 weeks; meat and bone meal 50

(10 p. 100) and spiruline algae (11.5 p. 100) from 48 to 54 weeks. In each diet, the complementary protein necessary to obtain a total protein content equal to 150 g/kg was provided by soybean meal (tables 1 and 2).

At the incorporation levels used, neither field peas nor field beans had any effect on the recorded egg traits, except a very small negative influence on yolk emulsifying capacity. Fish meal tended to reduce the blood spots frequency; the same effect was induced by lucerne protein which also enhanced the stability of albumen foams and yolk emulsions, besides its very known positive effect on yolk coloration. Meat and bone meal presented the greatest number of favourable influences: decrease in cracked egg frequency and in albumen foam density, increase in yolk coloration and in stability of albumen foams and yolk emulsions. Spiruline algae were the only protein source which slightly increased HAUGH unit score, besides their very high colouring ability on the yolk.

Egg storage (3 weeks at 18 °C) suppressed all the nutritional effects observed in the albumen and induced a very strong decrease in density and stability of albumen foams (tables 5 to 7). The ageing of laying hens (only studied in soybean meal-fed birds) interacted with egg storage on foam stability (fig. 1) and induced, *per se*, a large increase in foam density.

These results are discussed in relation to already known effects of raw materials chosen and the biological control of egg functional properties. The absence of any known work devoted to the nutritional control of these properties is particularly noted.

Références bibliographiques

- AITKEN J. R., BIELY J., NIKOLAICZUK N., ROBBLEE A. R., SUMMERS J. D., BARR W. K., 1972. Genotype $\times$ dietary protein level interactions in egg production stocks. *Poult. Sci.*, **51**, 1578-1582.
- AITKEN J. R., DICKERSON G. E., GOWE R. S., 1973. Effect of intake and source of protein on laying performance of seven strains under single and doubled cage housing. *Poult. Sci.*, **52**, 2127-2134.
- ANDERSON K., 1976. Composition of hen's egg. Variation and its causes. *Proc. 1st symp. on monogastric animal production*. Swedish college of agriculture, Uppsala, paper n° XXIII.
- BALDWIN R. E., 1973. Functional properties in foods. In STADELMAN W. J., COTTERILL O. J. : *Egg Science and Technology*. Avi Publishing Co, Wesport, 248-258.
- BELL D. D., MORENG R. E., 1973. Intermittent feeding and lighting of mature leghorn hens. *Poult. Sci.*, **52**, 982-991.
- BELLEC R., 1975. Contribution à l'étude de la valeur nutritive des protéagineux (féverole-lupin et pois) chez la volaille. *Mémoire D.E.A., Station rech. Avic.*, I.N.R.A., Nouzilly, 40 pages.
- BLUM J. C., GUILLAUMIN S., CALET C., 1975. Valeur alimentaire des algues spirulines pour la poule pondeuse. *Ann. Nutr. Alim.*, **30**, 675-682.
- BOLTON W., BLAIR R., 1974. *Poultry Nutrition*. HMSO Bull. 174, 52-53, Ministry of Agric., Fisheries and Fd., London.
- BOUGON M., 1974. Influence de la substitution du tourteau de soja par de la féverole sur les performances des pondeuses. *Bull. Inf. St. Exp. Ploufragan*, **14**, 102-106.
- BROOKS J., TAYLOR D. J., 1955. *Eggs and egg products*. Fd. Investig., Special report, **60**, 42-49.
- BUTTS J. N., CUNNINGHAM F. E., 1972. Effect of dietary protein on selected properties of the egg. *Poult. Sci.*, **51**, 1726-1734.
- CALET C., BLUM J. C., LECLERCQ, 1975. Communication personnelle.
- COLAS B., SAUVAGEOT F., HARSCOAT J. P., SAUVEUR B., 1979. Protéines alimentaires et qualité de l'œuf. 2. Influence de la nature des protéines distribuées aux poules sur les caractéristiques sensorielles de l'œuf et la teneur en acides aminés libres du jaune. *Ann. Zootech.*, **28**, 297-314.
- COMBS G. F., HELBACKA N. V., 1960. Studies with laying hens. 1-effect of dietary fat, protein level and other variables in practical rations. *Poult. Sci.*, **39**, 271-279.
- COTTERILL O. J., GLAUERT J., BASSETT H. J., 1976. Emulsifying properties of salted yolk after pasteurization and storage. *Poult. Sci.*, **55**, 544-548.
- CUNNINGHAM F. E., 1976. Properties of egg white foam drainage. *Poult. Sci.*, **55**, 738-743.
- DAMRON B. L., ELDRED A. R., HARMS R. H., 1976. An improvement of interior egg quality by the feeding of brewers dried grains. *Poult. Sci.*, **55**, 1365-1366.

- DAVIDSON J., 1972. The nutritive value of field beans (*vicia faba* L.) for laying hens. *Proc. Nutr. Soc.*, **31**, 5 A.
- DAVIDSON J., 1977. The nutritive value of field beans (*vicia faba* L.) and field peas (*pisum sativum*). In *Protein quality from leguminous crops*. Publication of the C.E.C. n° EUR 5686 EN, 243-251.
- EVANS R. J., DAVIDSON J. A., BAUER D. H., BANDEMER S. L., 1958. Distribution of proteins in fresh and stored shell eggs. *Poult. Sci.*, **37**, 81-89.
- FEENEY R. E., DUCAY E. D., SILVA R. B., MC DONNELL L. R., 1952. Chemistry of shell egg deterioration: the egg white proteins. *Poult. Sci.*, **31**, 639-646.
- GARIBALDI J. A., DONOVAN J. W., DAVIS J. G., CIMINO S. L., 1968. Heat denaturation of the ovomucine-lysozyme electrostatic complex. A source of damage to the whipping properties of pasteurized egg white. *J. Fd. Science*, **33**, 514-524.
- GUILLAUME J., 1977. Use of field beans (*vicia faba* L.) and peas (*pisum sativum*) in laying hen and growing chicken diets. In *Protein quality from leguminous crops*, Publication of the C.E.C., n° EUR 5686, 217-235.
- GUILLAUME J., 1978. Nouvelles acquisitions sur l'utilisation de la féverole (*vicia faba* L.) et du pois (*pisum sativum*) dans l'alimentation de la volaille. *Proc. XVI Wld. Poult. Cong.*, 1128-1132.
- GUILLAUME J., BELLEC R., 1977. Use of field beans (*vicia faba* L.) in diets for laying hens. *Brit. Poult. Sci.*, **18**, 573-583.
- GUILLAUME J., CALET C., DE CARVILLE H., 1973. La féverole (*vicia faba* L.) dans l'alimentation des volailles. *Bull. Tech. Inform. (Minist. Agric.)*, **277**, 103-110.
- GUILLAUME J., GOMEZ J., 1977. Effet des proanthocyanidines extractibles au méthanol absolu, (PEMA) sur la digestibilité des protéines chez le poussin. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **17**, 549-552.
- HARMS R. H., DOUGLAS C. R., 1960. Relationship of rate of egg production as affected by feed to Haugh units of eggs. *Poult. Sci.*, **39**, 75-76.
- HAUGH R. E., 1939. Unit for measuring egg storage conditions. *Proc. 7th World's Poult. Congr.*, 525-528.
- HAZEN K. R., WALDROUP P. W., 1972. Improvement of interior egg quality by corn dried steep liquor concentrate. *Poult. Sci.*, **51**, 1816.
- JANSSEN H. J. L., 1971. Influence of pasteurization, freezing and storage on properties of egg products made from eggs stored for 7 and for 28 days. *J. Sci. Fd. Agric.*, **22**, 491-495.
- JENSEN L. S., 1978. Distillers feeds as sources of unidentified factors for laying hens. *Proc. Distil. Fd. Res. Council*, **33**, 17-22.
- JENSEN L. S., CHANG C. H., MAURICE D. V., 1976. Improvement of interior egg quality and reduction in liver fat in hens fed brewers dried grains. *Poult. Sci.*, **55**, 1841-1847.
- JENSEN L. S., CHANG C. H., WILSON S. P., 1978a. Interior egg quality: improvement by distillers feeds and trace elements. *Poult. Sci.*, **57**, 648-654.
- JENSEN L. S., MAURICE D. V., MURRAY M. W., 1978b. Evidence for a new biological function of chromium. *Fed. Proc.*, **37**, 404.
- JORDAN R., VAIL G. E., ROGLER J. C., STADELMAN W. J., 1962. Further studies on egg from hens on diets differing in fat content. *Food. Technol.*, **16**, 118-120.
- LINWEAVER H., MEEHAN J. J., GARIBALDI J. A., KLINE L., 1962. Shell egg factors and egg product quality. *Proc. XIIth World. Poult. Cong.*, 439-442.
- MAC DONNELL R. R., FEENEY R. E., HANSON H. L., CAMPBELL A., SUGIHARA T. F., 1955. The functional properties of the egg white proteins. *Food Technol.*, **9**, 49-53.
- MAC INTYRE T. M., AITKEN J. R., 1959. The production requirements of laying hens in floor pens and individual cages. *Canad. J. Anim. Sci.*, **39**, 176-181.
- MAESSO-WEDRAL E., BAKER R. C., VADEHRA D. V., MC CAUGHRAN D. A., 1971. Effect of inheritance on the foaming ability of albumen. *J. Inst. Can. Technol. Aliment.*, **4**, 125-129.
- MARTIN-TANGUY J., GUILLAUME J., KOSSA A., 1977. Condensed tannins in horse bean seeds; chemical structure and apparent effects on poultry. *J. Sci. Fd. Agric.*, **28**, 757-765.
- MUELLER W. J., 1956. The influence of energy source, energy concentration and protein source of the diet on certain egg quality characteristics. *Poult. Sci.*, **35**, 1074-1078.
- NAKAMURA R., SATO Y., 1964. Studies on the foaming property of the chicken egg white. X. On the role of ovomucin B in egg white foaminess. *Agric. Biol. Chem. Tokyo*, **28**, 530.
- PEPPER W. F., WINGET C. M., SLINGER S. J., 1961. Influence of calcium and ascorbic acid on egg quality. *Poult. Sci.*, **40**, 657-662.
- ROBBLEE A. R., CLANDININ D. R., HARDIN R. I., MILNE G. R., DARLINGTON K., 1977. Studies on the use of faba beans in rations for laying hens. *Can. J. Anim. Sci.*, **57**, 421-425.

- ROBINSON D. S., 1972. Egg white glycoproteins and the physical properties of egg white. In FREEMAN B. M., LAKE P. E., *Egg formation and production*. Br. Poult. Sci. Ltd. Edimburgh. 65-86.
 - ROBINSON D. S., MONSEY J. B., 1972. Changes in the composition of ovomucin during liquefaction of thick egg white. *J. Sci. Fd. Agric.*, **23**, 29-38.
 - ROMANOFF A. L., ROMANOFF A. J., 1949. *The avian egg*. J. Wiley and Sons, New York, 392-398.
 - SAUTER E. A., MONTURE J. E., 1972. The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. *J. Fd. Science*, **37**, 918-920.
 - SCHOLTYSEK S., 1977. The influence of different levels of dietary protein on the quality of eggs. *Arch. Geflügelk.*, **41**, 10-13.
 - SCOTT M. L., NESHEIM M. C., YOUNG R. T., 1976. *Nutrition of the chicken*. 2nd Ed., Scott and Associates, Ithaca. New York.
 - SMITH R. E., CHANCEY H. W. R., 1967. Laying rations based on wheat, oats and fish meal. *Poult. Sci.*, **46**, 1438-1442.
 - VARADARAJULU P., CUNNINGHAM F. G., 1972a. A study of selected characteristics of hen's egg yolk. 1. — Influence of albumen and selected additives. *Poult. Sci.*, **51**, 542-546.
 - VARADARAJULU P., CUNNINGHAM F. E., 1972b. A study of selected characteristics of hen's egg yolk. 3. — Influence of breed, strain and age of bird. *Poult. Sci.*, **51**, 1327-1331.
 - WILCOX F. H., 1956. Factors influencing the lysozyme level of hen's egg white. *Poult. Sci.*, **35**, 278-284.
-