

ACIDOSES MÉTABOLIQUES EXPÉRIMENTALES CHEZ LA POULE PONDEUSE

II. — ACTION SUR LA COMPOSITION MINÉRALE DE L'ALBUMEN DE L'ŒUF

B. SAUVEUR

avec la collaboration technique de J. ROCARD

*Station de Recherches avicoles,
Centre de Recherche de Tours 37 - Nouzilly
Institut national de la Recherche agronomique*

RÉSUMÉ

Nous avons étudié chez 40 poules pondeuses de race *Leghorn* âgées de 29 semaines, l'action de surcharges alimentaires en NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, HCl et H_2SO_4 (toutes équivalentes à 3 p. 100 de NH_4Cl) sur la qualité de l'albumen de l'œuf (mesurée en unités Haugh), le pH, la pCO_2 et la teneur de ce milieu en Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^- , HCO_3^- et P total. Ces mesures ont été effectuées autour des 2^e, 12^e et 22^e jours après début du traitement.

Les paramètres étudiés sont peu liés au temps de traitement et présentent très tôt des variations importantes. A l'opposé, la nature de la surcharge alimentaire joue un rôle déterminant : c'est ainsi que NH_4Cl et HCl d'une part, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et H_2SO_4 d'autre part, agissent de façon identique sur la quasi-totalité des paramètres étudiés ; ceci démontre que l'ion NH_4^+ n'intervient qu'en tant que source endogène d'ions H^+ .

A quantité égale d'ions H^+ apportés dans le régime, l'anion qui les accompagne joue en fait le rôle principal : Cl^- affecte profondément les caractéristiques de l'albumen qui restent inchangées avec une surcharge en SO_4^{--} . A titre d'exemple les modifications moyennes de l'albumen dues à l'ingestion de 3 p. 100 de NH_4Cl sont les suivantes : unités Haugh + 6,2 p. 100 ; calcium + 225,2 p. 100 ; chlore + 33,7 p. 100 ; potassium + 8,7 p. 100 ; sodium — 23,8 p. 100 ; bicarbonates — 64,7 p. 100 ; pH — 3,6 p. 100 ; pCO_2 — 24,7 p. 100 (variations toutes significatives).

En rapprochant ces résultats de ceux enregistrés au niveau sanguin (SAUVEUR, 1969 a) il apparaît que la qualité de l'albumen est liée au pH et à la disponibilité des bicarbonates du sang et, d'autre part, au pH et à la teneur en calcium de l'albumen lui-même ; les autres éléments (Na^+ , K^+ , Cl^-) ne semblent intervenir que secondairement.

Nous montrons enfin que le pH et la teneur de l'albumen en HCO_3^- , Cl^- et Na^+ reflètent la composition du plasma sanguin alors que les transferts de Ca^{++} et K^+ vers le blanc de l'œuf s'accroissent sous l'effet de l'acidose indépendamment des concentrations plasmatiques.

INTRODUCTION

Les moyens par lesquels l'équilibre acido-basique de la poule intervient sur la qualité de l'albumen de l'œuf ne sont que très partiellement connus bien que quelques

travaux aient déjà été consacrés à ce problème. Citons ceux de HELBACKA *et al.* (1963) qui ont placé des animaux pendant plusieurs heures dans une atmosphère contenant 5 p. 100 de gaz carbonique. Nous avons nous-même étudié l'action d'hypercapnies chroniques sur la qualité de l'albumen (SAUVEUR, 1968). Des acidoses d'origine métabolique ont également été effectuées par HALL et HELBACKA (1959), HUNT et AITKEN (1962). Ces quatre expériences ont donné des résultats concordants, à savoir que l'état d'acidose (d'origine ventilatoire ou métabolique) modifie de façon très nette la qualité de l'albumen mesurée en unités Haugh.

Nous disposions donc là d'une voie d'action commode pour étudier les relations qui peuvent exister entre la « qualité d'albumen » et la composition minérale de ce milieu, question qui, jusqu'à ce jour, n'avait été que partiellement abordée par HUNT (1964). Aussi avons-nous réalisé des acidoses métaboliques à l'aide du chlorure d'ammonium et d'autres sources d'ions H^+ incorporées à la ration et étudié leurs effets sur le transfert des électrolytes de la poule à l'albumen de l'œuf.

MATÉRIEL, ET MÉTHODES

1. Matériel animal et traitements appliqués

Nous avons utilisé 40 poules *Leghorn* âgées de 29 semaines en début d'expérience. Durant une période préliminaire de 10 jours, tous les animaux ont reçu le même régime de base et six œufs de chaque poule ont été analysés : sur trois d'entre eux nous avons déterminé simultanément les unités Haugh, la matière sèche et les teneurs en ions Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^- et en phosphore total de l'albumen ; les trois autres œufs ont été utilisés pour des mesures de pH et de pCO_2 de l'albumen.

Après cette période de référence, les animaux ont été divisés en 5 lots de 8 et nourris avec des mélanges expérimentaux déjà décrits (SAUVEUR, 1969 a), que nous rappelons ici :

| | |
|----------------|--|
| lot témoin (T) | régime de base permanent |
| lot A | régime de base + 3 p. 100 NH_4Cl |
| lot B | régime de base + 3,7 p. 100 $(NH_4)_2SO_4$ |
| lot C | régime de base + 4,7 l. HCl concentré/100 kg |
| lot D | régime de base + 1,6 l. H_2SO_4 concentré/100 kg |

Les proportions des différents corps ajoutés ont été calculées de façon à apporter ou libérer la même quantité d'ions H^+ et à pouvoir déterminer lequel des ions H^+ , NH_4^+ ou Cl^- du régime exerce l'effet le plus important au niveau de l'œuf.

Nous avons ainsi étudié trois stades successifs de production sous acidose ; ils comprennent respectivement :

— les 3 premiers œufs de chaque poule pondus après distribution des mélanges expérimentaux ;

— 3 autres œufs pondus entre 10 et 15 jours après début du traitement ;

— 3 œufs pondus entre le 20^e et le 25^e jour.

A chacun de ces trois sondages, nous avons enregistré, comme pendant la période de référence, les unités Haugh, la matière sèche et les différents teneurs en électrolytes du blanc. De nouvelles mesures du pH et de la pCO_2 de l'albumen ont été effectuées sur 3 œufs par poule ramassés entre le 10^e et le 18^e jour de traitement.

2. Méthodes d'analyse des œufs

Unités Haugh et électrolytes.

Les œufs sont ramassés au fur et à mesure de la ponte et cassés dans la demi-journée consécutive à celle-ci avec mesure immédiate des unités Haugh. Le blanc est ensuite séparé du jaune et homogénéisé à l'Ultra-Thurax ; nous prélevons un échantillon de 5 ml qui est pesé puis mis à l'étuve à 110°C pendant 24 heures. A la fin de cette période, une nouvelle pesée donne le poids

de matière sèche ; celle-ci est ensuite passée au four pendant 12 heures environ à une température inférieure à 450°C pour éviter toute perte d'ion Cl^- (SAUVEUR, 1969 *b*). Les cendres sont reprises avec une quantité constante d'acide nitrique, filtrées et étendues à 100 ml. Chaque ion est alors dosé suivant des méthodes déjà décrites (SAUVEUR, 1969 *a*).

pH et $p\text{CO}_2$.

Le pH et la $p\text{CO}_2$ de l'albumen sont déterminés, aussitôt après la ponte, par une méthode identique à celle utilisée pour le plasma (micro-électrode et tonomètre Radiometer : MONGIN et LACASSAGNE, 1966). L'albumen est prélevé directement dans l'œuf après une très légère perforation de la coquille. Des travaux parallèles (SAUVEUR, 1969 *b*) nous ayant indiqué l'existence d'un gradient de $p\text{CO}_2$ à l'intérieur de l'œuf, nous prélevons systématiquement du blanc dans la couche d'albumen située le plus près de la coquille (albumen liquide externe). Les bicarbonates sont calculés au moyen de l'équation d'Hasselbach-Henderson comme indiqué dans la publication ci-dessus.

RÉSULTATS

1. Période pré-expérimentale

Les moyennes par lot des mesures effectuées avant distribution des mélanges expérimentaux, figurent au tableau 1. Nous constatons que, malgré la répartition au hasard des animaux entre les différents lots, il existe quelques différences entre les 5 groupes. C'est ainsi que les unités Haugh varient de 92,6 à 98,1 ; le pH de l'albumen de 7,39 à 7,47 et sa $p\text{CO}_2$ de 115,9 à 139,2 mm Hg. Les éléments les plus constants quant à leur concentration sont le phosphore total (115,6 à 117 mg/l), le calcium et le potassium.

Compte tenu de ces observations préliminaires, nous avons calculé pour chaque œuf la variation entre la valeur d'un paramètre à l'instant t et la moyenne de la poule pour ce même paramètre à l'instant 0 (calculée sur les 3 œufs collectés pendant la période de référence). Les tableaux 2 et 4 sont composés des moyennes par traitement de ces variations. Cette notation a l'avantage d'éliminer les différences initiales entre animaux ainsi que l'effet propre du temps estimé par les variations du lot témoin. Cependant, afin de garder présentes à l'esprit les vraies grandeurs des variables étudiées, nous avons représenté leur évolution en fonction du temps par la figure 1.

2. Période de traitement j_0-j_5

Les résultats relatifs à cette période sont rapportés dans la partie supérieure du tableau 2 suivant la notation définie ci-dessus. Le tableau 2 *bis* donne les valeurs du test de F de comparaison globale des 5 lots tandis qu'au tableau 3 (partie gauche), figurent les seuils de signification des différences entre lots pris 2 à 2. Nous pouvons, de l'ensemble de ces données, dégager les faits suivants :

— Les unités Haugh augmentent de façon hautement significative par rapport au témoin ($p < 0,001$) chez les lots recevant NH_4Cl ou HCl (+ 6,73 et + 8,12 UH), qui ne diffèrent pas entre eux. A l'opposé, les animaux recevant $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ou H_2SO_4 conservent des valeurs d'unités Haugh identiques à celles du lot témoin (tabl. 2).

— De même, la teneur de l'albumen de l'œuf en calcium augmente considérablement chez les lots surchargés en Cl^- (+ 33,1 et 21,9 méq/l, $p < 0,001$). Ces deux valeurs sont elles-mêmes différentes au seuil de probabilité $p < 0,05$ (tabl. 3). En les rapprochant des teneurs en Ca^{++} observées chez les mêmes lots durant la

TABLEAU I
Composition de l'albumen de l'œuf
Moyennes par lot durant la période de référence
(tous les animaux reçoivent le régime de base)

| Lot témoin (T) | Poids œuf (g) | Unités Haugh | Matière sèche (g/kg alb.) | pH | pCO ₂ (mm Hg) | HCO ₃ ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | | Ca ⁺⁺ | Cl ⁻ | P (mg/l alb.) |
|------------------|---------------|--------------|---------------------------|--------|--------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------|--------|------------------|-----------------|---------------|
| | | | | | | | | (még/l) d'albumen | | | | |
| | 52,55 (1) | 94,56 | 129,09 | 7,47 | 115,87 | 78,10 | 83,90 | 37,58 | 9,44 | | 45,29 | 115,62 |
| | ± 1,33 | ± 0,99 | ± 1,54 | ± 0,02 | ± 8,44 | ± 2,57 | ± 1,41 | ± 0,19 | ± 0,39 | | ± 0,61 | ± 1,18 |
| Lot A | 52,66 | 98,12 | 130,21 | 7,39 | 139,21 | 78,64 | 81,55 | 37,59 | 10,19 | | 46,19 | 116,69 |
| | ± 1,05 | ± 1,20 | ± 1,26 | ± 0,02 | ± 3,80 | ± 2,51 | ± 1,03 | ± 0,08 | ± 0,22 | | ± 0,88 | ± 1,83 |
| Lot B | 53,52 | 96,47 | 129,80 | 7,44 | 121,81 | 76,38 | 80,80 | 38,64 | 9,67 | | 45,91 | 116,06 |
| | ± 1,10 | ± 0,89 | ± 1,47 | ± 0,02 | ± 7,55 | ± 3,48 | ± 1,69 | ± 0,88 | ± 0,41 | | ± 0,96 | ± 1,06 |
| Lot C | 53,04 | 92,62 | 128,50 | 7,42 | 117,41 | 69,85 | 81,16 | 37,89 | 9,34 | | 46,66 | 115,81 |
| | ± 1,10 | ± 1,24 | ± 1,40 | ± 0,02 | ± 5,40 | ± 3,20 | ± 1,38 | ± 0,57 | ± 0,48 | | ± 0,95 | ± 1,77 |
| Lot D | 54,50 | 95,31 | 127,41 | 7,43 | 124,91 | 76,02 | 85,14 | 36,12 | 10,47 | | 47,51 | 117,00 |
| | ± 1,07 | ± 0,99 | ± 1,87 | ± 0,02 | ± 8,37 | ± 2,46 | ± 1,00 | ± 0,76 | ± 0,34 | | ± 0,73 | ± 1,59 |
| Moyenne générale | 53,25 | 95,42 | 129,00 | 7,43 | 123,84 | 75,80 | 82,51 | 37,57 | 9,82 | | 46,31 | 116,24 |
| | ± 0,49 | ± 0,55 | ± 0,66 | ± 0,01 | ± 3,23 | ± 1,32 | ± 0,63 | ± 0,31 | ± 0,17 | | ± 0,37 | ± 0,65 |

(1) Moyennes $\pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ calculées sur 20 à 25 œufs suivant le cas.

TABLEAU 2

Action d'acidoses métaboliques sur la composition de l'albumen de l'œuf
Différences: Période de traitement — Période de référence

| | Δ (Poids œuf) (g) | Δ (Unités Haugh) | Δ (Mat. sèche) (g/kg alb.) | Δ [Na ⁺] | Δ [K ⁺] (még/l albumen) | Δ [Ca ⁺⁺] | Δ [Cl ⁻] | Δ [P] (mg/l alb.) |
|---|----------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|--|-----------------------|----------------------|----------------------|
| <i>1^{er} Sondage</i> | | | | | | | | |
| Lot T (Témoin) | 2,82 (1) | — 0,62 | — 2,53 | 0,28 | — 1,57 | 2,20 | 7,45 | 1,64 |
| Lot A NH ₄ Cl | — 1,72*** | 6,73*** | 0,70 | — 21,55*** | — 0,64 | 33,14*** | 17,25*** | 4,14 |
| Lot B (NH ₄) ₂ SO ₄ | 0,27* | 0,03 | — 2,14 | 2,43 | — 0,82 | 3,54 | 13,83* | 1,50 |
| Lot C HCl | 0,74*** | 8,12*** | — 0,40 | — 13,49*** | — 0,14 | 21,94*** | 23,16*** | 6,75 |
| Lot D H ₂ SO ₄ | 0,51** | 0,36 | — 0,37 | — 3,13 | — 0,32 | 2,69 | 11,44 | 1,00 |
| <i>2^e Sondage</i> | | | | | | | | |
| Lot T (Témoin) | 2,89 (1) | 0,58 | — 3,69 | 1,31 | — 0,49 | 2,46 | 2,56 | — 0,81 |
| Lot A NH ₄ Cl | — 2,00*** | 4,32* | — 2,39 | — 17,19*** | 4,27*** | 22,25*** | 23,74*** | 2,42 |
| Lot B (NH ₄) ₂ SO ₄ | 1,42 | — 0,23 | — 1,45 | 0,89 | — 1,22 | 4,36 | 8,97* | 1,35 |
| Lot C HCl | 0,82* | 1,38 | — 3,10 | — 4,26** | 2,84*** | 8,02** | 25,57*** | 0,40 |
| Lot D H ₂ SO ₄ | 1,01 | — 1,55 | — 0,18 | 0,32 | — 0,30 | 2,67 | 7,24 | 1,77 |
| <i>3^e Sondage</i> | | | | | | | | |
| Lot T Témoin | 3,88 (1) | — 2,72 | — 3,35 | — 0,75 | — 0,25 | 2,20 | 4,38 | 1,87 |
| Lot A NH ₄ Cl | — 0,99*** | 4,42*** | — 0,50 | — 18,70*** | 3,85*** | 20,33*** | 20,12*** | 6,75 |
| Lot B (NH ₄) ₂ SO ₄ | 1,40* | — 1,83 | — 2,89 | — 0,72 | — 0,31 | 5,26 | 15,23*** | 4,25 |
| Lot C HCl | 0,95** | 5,09*** | — 1,91 | — 11,45*** | 2,64** | 15,81*** | 22,00*** | 6,87 |
| Lot D H ₂ SO ₄ | — 1,62* | — 2,36 | 1,01 | — 3,43 | 1,26 | 3,13 | 9,70 | 6,17 |

* Moyenne différente de celle du lot témoin au seuil de probabilité $p < 0,05$

** Moyenne différente de celle du lot témoin au seuil de probabilité $p < 0,01$

*** Moyenne différente de celle du lot témoin au seuil de probabilité $p < 0,001$

(1) Moyennes calculées sur 12 à 16 œufs suivant les lots.

période de référence (tabl. 1) nous voyons que l'accroissement représente plus de 300 p. 100 de la concentration initiale dans le cas du lot A et plus de 200 p. 100 pour le lot C. Comme pour les unités Haugh, la quantité de Ca^{++} des lots B et D (surchargés en SO_4^{--}) ne diffère pas de celle des témoins.

TABLEAU 2 bis
Valeurs du test de F obtenues lors de l'analyse des données du tableau 2

| | Poids œufs | U.H. | M.S. | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Cl ⁻ | P |
|-------------------------------|------------|----------|------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|------|
| 1 ^{er} sondage | 5,93*** | 14,12*** | 1,68 | 17,94*** | 0,55 | 19,10*** | 9,03*** | 1,29 |
| 2 ^e sondage | 7,80*** | 3,71*** | 1,73 | 30,22*** | 13,70*** | 48,44*** | 32,82*** | 0,97 |
| 3 ^e sondage | 5,64*** | 11,28*** | 1,60 | 34,30*** | 6,19*** | 34,09*** | 9,68*** | 0,83 |

— La teneur en sodium du blanc chute chez les animaux placés en acidose hyperchlorémique (lots A et C) de — 21,6 et — 13,5 méq/l respectivement. Là encore, la différence entre ces deux valeurs est significative ($p < 0,05$ tabl. 3) tandis que les lots B et D ne s'écartent pas significativement du lot témoin (tabl. 1).

— La concentration du chlore dans l'albumen augmente de 17,2 et 23,2 méq/l chez les lots A et C ($p < 0,001$ dans les 2 cas) et de 13,8 et 11,4 méq/l chez les lots recevant $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et H_2SO_4 ; de ces deux valeurs, seule la première est statistiquement supérieure à celle du lot témoin, celui-ci présentant lui-même un accroissement de teneur en chlore de 7,45 méq/l (tabl. 2).

— Il ne ressort de cette première série de mesures aucune différence entre lots en ce qui concerne les concentrations du potassium et du phosphore. Les variations de la matière sèche sont dispersées et non significatives.

— Notons enfin que le poids de l'œuf augmente chez les animaux témoins alors qu'il est stationnaire pour les lots B, C et D. Il diminue même chez les poules recevant du chlorure d'ammonium (lot A).

Si nous comparons donc les 2 lots recevant une surcharge en ammonium (lots A et B) nous constatons que suivant l'anion qui l'accompagne les effets exercés sur les unités Haugh et les teneurs en calcium et sodium de l'albumen sont très différents (tabl. 3). Il en est de même pour les lots surchargés en acide (lots C et D) qui présentent des différences hautement significatives pour les mêmes paramètres, plus le chlore.

Nous avons vu, par contre, qu'il n'existe que des différences mineures entre les lots « NH_4Cl » et « HCl » et que les lots « $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ » et « H_2SO_4 » donnent des réponses absolument identiques et égales par ailleurs à celle du lot témoin (sauf pour l'ion Cl^-).

Ceci nous conduit dans un premier temps à attribuer les modifications constatées, tant pour les unités Haugh que pour la teneur du blanc en électrolytes, à l'anion incorporé au régime plutôt qu'à l'ion NH_4^+ en tant que tel. Il apparaît en première approximation qu'une source d'acide (NH_4^+ ou H^+) accompagnée d'ions Cl^- modifie les caractéristiques de l'albumen mais que cette action disparaît si la même charge acide est introduite sous forme de sulfates.

3. Période j_{10} - j_{15} du traitement

Les moyennes des écarts entre cette période et la période pré-expérimentale sont reportées dans la partie médiane du tableau 2. Comme dans le cas du premier sondage, nous avons fait figurer au tableau 3 (partie médiane) les seuils de signification des écarts entre lots.

Les résultats enregistrés durant cette période pour le lot « NH_4Cl » (A) sont sensiblement les mêmes que ceux du 1^{er} sondage, à savoir une augmentation significative des unités Haugh (+ 4,32) et des teneurs en Ca^{++} (+ 22,25 méq/l) et en Cl^- (+ 23,74 méq/l) alors que la concentration du Na^+ reste inférieure à celle observée chez le lot témoin (- 17,19 méq/l) ($p < 0,001$ pour toutes ces valeurs, tabl. 2). Il s'y ajoute un accroissement significatif de la teneur de l'albumen en potassium (+ 4,3 méq/l, $p < 0,001$). Les lots B et D gardent les mêmes caractéristiques que le lot témoin, sauf pour la concentration du chlore qui est légèrement augmentée (+ 8,97 méq/l, $p < 0,05$ dans le cas du lot B), comme au 1^{er} sondage.

Les animaux recevant de l'acide chlorhydrique (C) réagissent moins à l'état d'acide que pendant les 5 premiers jours de traitement. C'est ainsi que, si la teneur en

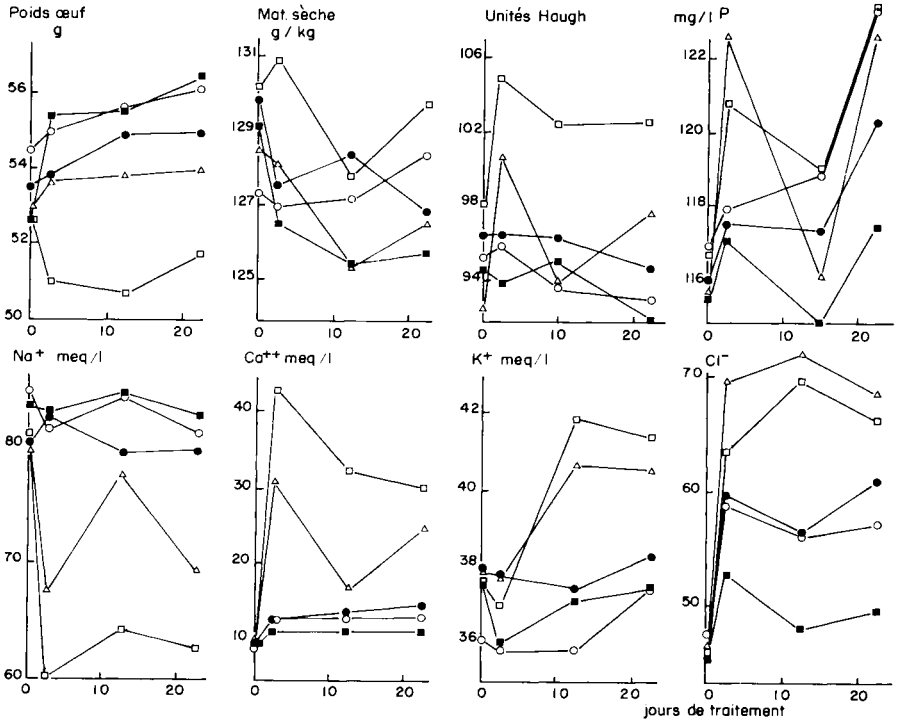


FIG. 1. — Évolution des caractéristiques de l'albumen de l'œuf chez des animaux soumis à une surcharge alimentaire d'acide (Les valeurs portées au temps 0 sont les moyennes des observations effectuées pendant les 10 jours précédant le début des traitements)

- lot témoin
- NH_4Cl (lot A)
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (lot B)
- △ HCl (lot C)
- H_2SO_4 (lot D)

Cl^- est encore très accrue (+ 25,6 méq/l, $p < 0,001$) et identique à celle du lot A, l'augmentation des unités Haugh (+ 1,38) n'apparaît plus significative. Les variations de concentration du Ca^{++} (+ 8,02 méq/l) et du Na^+ (— 4,26 méq/l) de ce même lot C restent différentes de celles des témoins ($p < 0,01$), mais s'éloignent beaucoup plus qu'au premier sondage de celles du lot A (NH_4Cl) ($p < 0,001$) (tabl. 3). De même, l'accroissement de concentration du potassium (+ 2,84 méq/l, $p < 0,001$) semble être inférieur à celui constaté chez le lot A.

Ces résultats, joints à ceux de la première période, tendent à démontrer que les teneurs en calcium et en sodium de l'albumen sont les paramètres qui suivent de plus près les unités Haugh (voir fig. 1 et tabl. 3). En effet, seules les concentrations de ces deux éléments varient de façon significative entre les lots « HCl » et « NH_4Cl » en même temps que les unités Haugh. Un calcul de corrélation approfondi est effectué plus loin à ce sujet.

4. Période j_{20} - j_{25} du traitement

Comme pour les 2 sondages précédents, nous rapportons les moyennes des écarts des divers paramètres entre cette période et la période de référence (tabl. 2, partie inférieure et les seuils de signification des différences entre lots tabl. 3, partie droite) :

Les valeurs du tableau 2 indiquent que nous sommes revenus à une situation analogue à celle du 1^{er} sondage, le lot C (« HCl ») n'apparaissant plus différent du lot A (« NH_4Cl ») pour la plupart des critères étudiés. La seule différence importante par rapport à la première période (j_0 - j_5) réside dans l'accroissement de teneur en potassium chez les lots A et C (+ 3,85 et + 2,64 méq/l respectivement) qui confirme la tendance apparue dans la période j_{10} - j_{15} .

Les résultats relatifs aux unités Haugh et aux teneurs de l'albumen en sodium, chlore et calcium vont dans le même sens que durant les 5 premiers jours de traitement, seuls les lots « NH_4Cl » et « HCl » donnant des valeurs différentes des animaux témoins. Comme lors des deux périodes précédentes, la teneur de l'albumen en matière sèche n'est pas affectée par l'acidose. De même, la concentration du phosphore reste constante chez tous les lots.

5. Effet du temps dans la réponse à l'acidose

Il apparaît sur la figure 1 que les caractéristiques de l'albumen des lots ayant bien répondu à la surcharge d'acide (lots « NH_4Cl » et « HCl ») ne sont pas constantes d'un bout à l'autre du traitement, excepté la concentration du chlore qui semble s'établir rapidement à son maximum et s'y maintenir. Les teneurs en sodium et en calcium sont affectées au maximum au moment du premier sondage et se rapprochent ensuite des valeurs témoins, phénomène surtout sensible pour l'ion Ca^{++} puisque :

$$\begin{array}{r} [\text{Ca}^{++}] \\ \text{A} \end{array} - \begin{array}{r} [\text{Ca}^{++}] \\ \text{T} \end{array} = \begin{array}{l} 30,94 \text{ méq/l de } j_0 \text{ à } j_5 \\ 18,13 \text{ méq/l de } j_{20} \text{ à } j_{25} \end{array}$$

Notons que pour Na^+ et Ca^{++} l'écart de concentration entre les lots A et C est constant durant toute la période expérimentale. Rappelons enfin que l'enrichissement de l'albumen en potassium n'apparaît qu'après 10 jours de traitement.

TABLEAU 4
*Moyennes par traitement des variations de pH, pCO₂ et [HCO₃⁻] de l'albumen
 entre la période (j₁₀-j₁₈) et la période de référence*

| | Lot Témoin (T) | Lot A (NH ₄ Cl) | Lot B (NH ₄) ₂ SO ₄ | Lot C (HCl) | Lot D (H ₂ SO ₄) | F |
|--|------------------------|-------------------------------|--|----------------|--|----------|
| Δ (pH) | — 0,001 ⁽¹⁾ | — 0,273*** | — 0,071 | — 0,190*** | — 0,056 | 15,14*** |
| Δ (pCO ₂) (mm Hg) | 11,22 | — 23,21** ⁽²⁾ | 3,40 | — 4,03 | 5,38 | 2,03 |
| Δ [HCO ₃ ⁻] (még/l) | 4,68 | — 46,27*** | — 8,3** | — 27,35*** | — 8,4** | 29,04*** |

⁽¹⁾ Moyenne sur 20 œufs.

⁽²⁾ Différent du lot T si ces deux lots seuls sont comparés.

6. pH , pCO_2 et teneur en bicarbonates de l'albumen

Mises à part les études préalables à l'administration des aliments expérimentaux, ces paramètres n'ont fait l'objet que d'une série de mesures située aux alentours du 12^e jour du traitement. Les résultats du tableau 4 représentent comme précédemment les moyennes des écarts entre les valeurs des paramètres à j_{12} et celles obtenues durant la période de référence. Nous avons rapporté au tableau 4 *bis* les seuils de signification des différences entre lots pris deux à deux.

Les faits suivants méritent d'être notés :

— l'incorporation au régime de chlorure d'ammonium ou d'acide chlorhydrique abaisse très significativement ($p < 0,001$) le pH de l'albumen (— 0,27 et — 0,19 respectivement). A l'opposé, l'apport d'une quantité identique d'ions H^+ accompagnés de sulfates n'exerce aucune action sur ce paramètre.

— La teneur de l'albumen en ions bicarbonates est très réduite chez les lots A et C (— 46,3 et — 27,3 méq/l, $p < 0,001$), ces deux concentrations étant significativement différentes l'une de l'autre ($p < 0,001$, tabl. 4 *bis*). Cette différence de comportement des lots A et C rappelle celles déjà observées précédemment durant la même période à propos des unités Haugh, du calcium et du sodium. Les lots B et D recevant $(NH_4)_2SO_4$ ou H_2SO_4 montrent également une réduction significative de la teneur en bicarbonates de l'albumen (— 8,3 méq/l, $p < 0,01$, tabl. 4) bien que le phénomène soit beaucoup moins accentué que chez les lots placés en acidose hyperchlorémique (tabl. 4 *bis*)

TABLEAU 4 *bis*

Équilibre acido-basique de l'albumen (suite)
Seuils de signification des différences entre lots pris deux à deux

| | Lot C (HCl) | Lot B $((NH_4)_2SO_4)$ | |
|------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Lot A (NH_4Cl) | 0,05 — 0,001 | 0,001 0,05 0,001 | pH pCO_2 HCO_3^- |
| Lot D (H_2SO_4) | 0,001 — 0,001 | — — — | pH pCO_2 HCO_3^- |

— Les valeurs de pCO_2 sont assez dispersées, à tel point que le test F de comparaison globale des 5 traitements n'apparaît pas significatif. En comparant les traitements 2 à 2 par un test de « *t* » il apparaît cependant que la pCO_2 des œufs produits par le lot A (NH_4Cl) est significativement inférieure à celle des témoins (— 23,2 mmHg $p < 0,01$). La réduction plus faible (— 4 mmHg) enregistrée chez le lot C n'est pas significative. Il en est de même chez les lots B et D.

En rapprochant ces résultats de ceux rapportés plus haut, nous voyons que des trois facteurs étudiés dans ce paragraphe, c'est le pH de l'albumen qui semble le

mieux suivre les variations d'unités Haugh ; ceci n'exclut pas un rôle indirect des ions HCO_3^- dont les variations relatives sont les plus importantes après celles du calcium. Il est de plus évident que la teneur de l'albumen en bicarbonates et son pH ne sont pas indépendants.

7. Corrélations Unités Haugh/Composition minérale de l'albumen

Afin de préciser les tendances observées dans la liaison unités Haugh/Composition minérale du blanc, nous avons procédé à un calcul de régression multiple suivant une méthode progressive (EFROYMSON, 1962) qui choisit successivement chaque variable explicative réduisant le plus la variance de la variable expliquée (ici les u. Haugh). Deux calculs distincts ont été effectués : l'un sur l'ensemble des données par œuf, l'autre sur les moyennes par poule au moment du 2^e sondage, afin de pouvoir incorporer à la régression les données relatives aux variations de pH, $[\text{HCO}_3^-]$ et pCO_2 des œufs.

Les coefficients de corrélation totale entre les variations des éléments prises 2 à 2 sont rapportés sur la figure 2. Nous y remarquons que, dans le cas des données

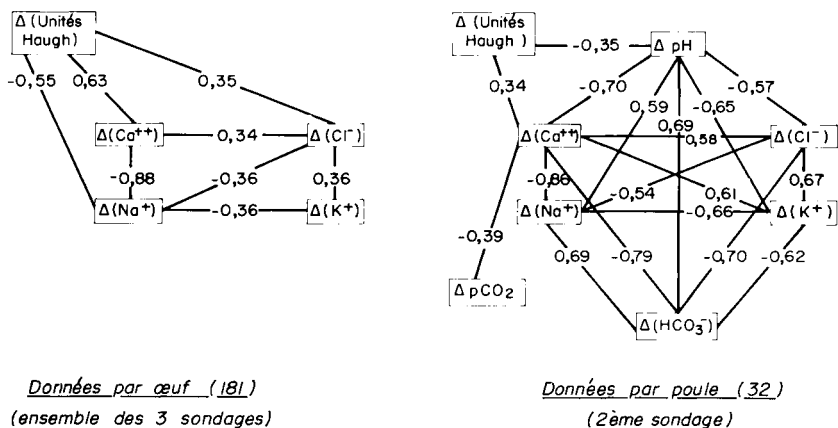


FIG. 2. — Graphe des coefficients de corrélation totale entre les variations des divers paramètres pris deux à deux (Ne figurent que les coefficients significatifs au niveau de probabilité $p < 0,05$)

par œuf, les paramètres les plus liés aux unités Haugh sont les ions Ca^{++} , Na^+ et, à un moindre degré, Cl^- . Dans le cas des données par poule, le pH et la teneur en Ca^{++} sont les facteurs prépondérants. Nous pouvons noter également que les variations des divers éléments sont très liées entre elles ; nous ne retiendrons pour exemple que les valeurs :

$$r_{\text{Ca}^{++}, \text{Na}^+} = -0,88 \text{ et } -0,86$$

$$r_{\text{Ca}^{++}, \text{HCO}_3^-} = -0,79$$

$$r_{\text{HCO}_3^-, \text{Cl}^-} = -0,70$$

toutes hautement significatives.

Le calcul de régression progressive multiple appliqué à l'ensemble des données par œuf aboutit à la relation :

$$\Delta (\text{u. Haugh}) = 0,245 \Delta [\text{Ca}^{++}] + 0,077 \Delta [\text{Cl}^{-}] - 8,184 \text{ (}^1\text{)}$$

avec

$$r (\text{multiple}) = 0,65 \text{ (F} = 64,8 \text{ } p < 0,001\text{)}$$

Le même calcul effectué sur les données par poule montre de plus l'action du pH du blanc sur les unités Haugh :

$$\Delta (\text{u. Haugh}) = -10,4 \Delta (\text{pH}) - 0,302$$

avec

$$r = 0,35 \text{ (F} = 4,3 \text{ } p < 0,05\text{)}$$

Il semble donc que, dans nos conditions expérimentales et compte tenu des traitements appliqués, les unités Haugh soient essentiellement liées à la teneur en calcium de l'albumen et à son pH. Si la concentration en sodium semble également influencer sur la qualité de l'albumen, ceci peut être dû à la forte corrélation existante entre variations de Ca^{++} et Na^{+} ($r = -0,88$).

DISCUSSION

Les résultats rapportés ici montrent que l'incorporation à un aliment classique de chlorure d'ammonium au taux de 3 p. 100 entraîne des modifications profondes de la qualité de l'albumen de l'œuf et de sa teneur en électrolytes. L'effet est le même si l'on apporte de l'acide chlorhydrique en quantité telle que l'apport d'ions H^{+} soit identique.

Il apparaît en revanche que la surcharge en sulfate d'ammonium ou en acide sulfurique n'exerce à peu près aucune action sur les paramètres étudiés bien que l'apport d'ions H^{+} soit le même dans tous les cas. Ces réponses aux traitements sont-elles logiques et quelles explications pouvons-nous en donner ?

1. Action de l'acidose sur la qualité de l'albumen mesurée en unités Haugh

HALL et HELBACKA (1959) constatent une augmentation très nette des unités Haugh de l'œuf lorsqu'ils incorporent au régime 2 p. 100 de NH_4Cl ou 2 litres 4 d' $\text{HCl}/100 \text{ lb}$ (ce qui correspond à peu près à un apport d'ions H^{+} et Cl^{-} équivalent à 3 p. 100 de NH_4Cl), alors que les apports de 2 p. 100 de NaHCO_3 ou de 1 p. 100 seulement de NH_4Cl se révèlent sans effet. Ces auteurs n'ayant pas utilisé de sources de protons autres que NH_4Cl ou HCl , n'apportent pas de renseignements sur le rôle de l'anion.

En 1962, HUNT et AITKEN aboutissent à des résultats identiques avec du chlorure d'ammonium au taux de 2 p. 100 mais n'obtiennent pas de réponse avec des surcharges en HCl et $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ équivalentes à 1 p. 100 de NH_4Cl . Ce dernier niveau se révélant justement sans action sur la qualité d'albumen, l'absence de réponse positive avec l'acide chlorhydrique ou le sulfate d'ammonium ne permet pas de conclure, à notre avis, que ces deux corps n'affectent pas la qualité d'albumen.

(¹) $\Delta [\text{Ca}^{++}]$ et $\Delta [\text{Cl}^{-}]$ sont exprimés en méq/l d'albumen.

Il ressort de nos résultats que l'ion NH_4^+ , en tant que tel, n'exerce aucun effet spécial sur la qualité d'albumen, mais n'intervient que comme source d'ion H^+ . En effet, de l'acide chlorhydrique incorporé au régime à un taux équivalent, agit de façon identique. Il apparaît de plus que l'action des ions H^+ apportés s'exerce de façon différente suivant l'anion qui les accompagne puisque la surcharge en sulfate d'ammonium ou en acide sulfurique n'affecte pas la qualité de l'albumen de l'œuf.

HUNT et AITKEN (déjà cités) expliquent l'action acidifiante du chlorure d'ammonium en rappelant que ce corps, composé d'un cation métabolisable et d'un anion non métabolisable, est à l'origine d'une production endogène d'ions H^+ . Nous sommes entièrement d'accord avec ce concept que nous avons déjà développé pour expliquer les résultats obtenus aux niveaux sanguin et urinaire (SAUVEUR, 1969 a). Cependant, le sulfate d'ammonium renferme également un anion très peu métabolisable (voir à ce propos la discussion de l'article ci-dessus) ; il faut donc chercher ailleurs les différences d'action constatées entre HCl et H_2SO_4 ou NH_4Cl et $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Les observations faites au niveau sanguin et la comparaison des résultats avec ceux connus chez les Mammifères montrent en fait que l'ion SO_4^{--} agit au niveau du tubule rénal, en permettant l'élimination des H^+ excédentaires (SAUVEUR, 1969 a).

La qualité de l'albumen ne serait donc que le reflet de l'acidose générale de l'animal et les différents ions incorporés au régime — y compris les ions H^+ libres — ne l'affecteraient que dans la mesure où ils déclenchent l'apparition d'une acidémie grave. Cette hypothèse est confirmée en considérant le tableau 5 où nous avons rapproché les observations des divers auteurs.

Les résultats de l'équipe d'HELBACKA sont incomplets dans la mesure où seul le pH sanguin est enregistré, ce qui ne permet pas de connaître l'état exact d'équilibre acido-basique des animaux. Cependant, on peut logiquement supposer que, dans l'expérience n° 2 de ces auteurs, la bicarbémie des animaux est très faible puisque l'acidose métabolique consécutive à l'ingestion de NH_4Cl est associée à une alcalose due à l'hyperventilation d'origine thermique. A l'opposé, les conditions de l'expérience n° 4 entraînent vraisemblablement une élévation de la bicarbémie.

Si tel est bien le cas, il apparaît qu'une augmentation importante des unités Haugh de l'albumen (expériences n° 2, 3 et 6) est liée à une baisse du pH sanguin, accompagnée d'une moindre disponibilité des bicarbonates. Le fait que, dans l'expérience n° 4, la bicarbémie se trouve augmentée en même temps que la qualité de l'albumen, n'est pas en contradiction avec cette hypothèse ; il est en effet probable que, en situation d'hypercapnie *aiguë*, les bicarbonates sanguins sont peu mobilisables au niveau utérin du fait de leur action régulatrice du pH sanguin (MONGIN et LACASSAGNE, 1966). Il est d'ailleurs caractéristique qu'en hypercapnie *chronique* (exp. n° 5) l'accroissement de bicarbémie s'accompagne d'une meilleure utilisation des bicarbonates pour la coquille de l'œuf (MONGIN, 1968) et d'une légère diminution de la qualité du blanc (SAUVEUR, 1968). La pCO_2 sanguine, en tant que telle, ne semble pas être reliée à ce dernier paramètre.

2. Acidoses métaboliques et transfert des minéraux à l'albumen

L'équilibre acido-basique de l'animal ne conditionne pas seulement la structure physique de l'albumen mesurée en unités Haugh mais aussi sa composition électrolytique. Nos résultats montrent en effet que le pH, la teneur en bicarbonates du

TABLEAU 5
Relations entre la qualité de l'albumen de l'œuf et l'équilibre acido-basique du sang
 (Écarts entre lots traités et lots témoins)

| Auteurs | Exp. n° | Δ (pH) | Δ (pCO ₂) (mm Hg) | Δ [HCO ₃ ⁻] (még/l) | Δ (Unités Haugh) | Traitement |
|---|------------|---------------|---|--|-------------------------|--|
| HALL et HELBACKA (1959) | 1 2 | + 0,13 | ? | ? | + 1,3 | Élévation de température de 22 à 35°C. 8 jours. |
| | | - 0,04 | ? | bicarbémie certainement très faible | + 10,4 | Élévation de température de 22 à 35 °C. + 3 p. 100 NH ₄ Cl, 8 jours |
| HUNT et AITKEN (1962) | 3 | - 0,09 | - 3,5 (calculé) | - 6,9 | + 6 | 2 p. 100 NH ₄ Cl. 28 jours |
| HELBACKA et al. (1963) | 4 | - 0,14 | ? | bicarbémie certainement élevée | + 1,2 | 2-5 p. 100 CO ₂ pendant 12 heures à une température de 30 °C : hypercapnie aiguë. |
| SAUVEUR (1968) | 5 | - 0,02 | + 14,1 | + 6,8 | - 1,2 | 2-3 p. 100 CO ₂ pendant 35 semaines : hypercapnie chronique. |
| SAUVEUR (1969 a) et résultats présents | 6 7 | - 0,24 | + 0,6 | - 9 | + 6,7 | 3 p. 100 NH ₄ Cl-25 jours. |
| | | - 0,05 | - 3 | - 3,8 | + 0,4 | H ₂ SO ₄ (équivalent à 3 p. 100 de NH ₄ Cl) 25 jours. |
| AMIN (1968) | 8 | + 0,04 | + 12,9 | + 10,6 | - 3,2 | Alcalose hypochlorémique. 7 semaines. |

blanc de l'œuf et de nombreux autres paramètres varient sous l'effet du chlorure d'ammonium ou de HCl.

HUNT (1964) constate que l'adjonction au régime de 2 p. 100 de NH_4Cl entraîne une augmentation de la teneur de l'albumen en potassium et en chlore alors que la concentration du sodium diminue. Nos résultats s'accordent avec ceux de cet auteur et permettent de pousser plus loin la discussion.

Nous avons déjà décrit et discuté (SAUVEUR, 1969 a) les modifications de composition électrolytique du sang et de l'urine consécutives aux 28 jours d'acidose étudiés ici au niveau de l'œuf. Rappelons brièvement que chez les lots recevant NH_4Cl ou HCl, nous avons noté une augmentation de la chlorémie et un abaissement de la natrémie. Chez tous les lots en acidose le pH urinaire était abaissé de même que la concentration urinaire des ions potassium et phosphates. En rapprochant ces observations de celles faites au niveau de l'albumen de l'œuf (1) nous pouvons faire les remarques suivantes :

— La teneur de l'albumen en chlore suit exactement celle du plasma. Ceci est valable à la fois chez les poules recevant NH_4Cl et HCl et chez celles recevant des sulfates. Rappelons en effet que chez ces dernières la chlorémie s'accroît légèrement ainsi que la teneur en ions Cl^- de l'albumen (alors que la chlorurie tend à diminuer).

— L'abaissement de teneur de l'albumen en sodium n'est sensible que chez les lots à faible natrémie (A et C).

— Le pH du blanc atteint de très faibles valeurs chez les animaux dont le pH sanguin est le plus bas. Il en va de même de la concentration des bicarbonates aux deux niveaux du sang et de l'œuf.

— Notons enfin que l'accroissement de teneur en potassium de l'albumen chez les oiseaux recevant NH_4Cl ou HCl est accompagné d'une réduction de kaliurie, mais que cette dernière est également constatée chez les lots recevant des sulfates.

A la vue de ces faits, nous pouvons nous demander si la teneur en électrolytes de l'albumen n'est que le reflet de celle du sang ou si l'oviducte contribue pour partie au maintien de l'homéostasie. La réponse doit être nuancée suivant les éléments étudiés. Nous avons vu par exemple que le pH urinaire est le même chez les 4 lots expérimentaux. Si l'albumen était une voie supplémentaire d'excrétion des ions H^+ , nous devrions également y mesurer un pH identique chez tous les animaux traités, ce qui n'est pas. Dans ce cas, le blanc de l'œuf ne fait donc que refléter passivement les conditions sanguines, elles-mêmes régulées par le rein.

Il semble qu'il en soit de même pour la répartition de l'ion chlore et que le niveau de la chlorémie conditionne le transfert de cet ion vers l'albumen. A l'opposé, l'accroissement des teneurs en Ca^{++} et K^+ de l'albumen, consécutif à la charge en NH_4Cl (ou HCl), ne résulte pas d'une variation de la concentration plasmatique de ces éléments qui reste inchangée.

Nous pouvons donc en déduire :

a) que le pH et la composition minérale de l'albumen de l'œuf ne sont pas constants mais dépendent de l'équilibre acido-basique général de l'animal ;

b) que ces variations reflètent la composition du plasma dans le cas du pH (résultat en accord avec celui de HUNT, 1964) et des ions HCO_3^- , Cl^- , et Na^+ ;

(1) Pour plus d'exactitude, nous ne considérons ici que les résultats du 3^{ème} sondage qui est le plus proche dans le temps des mesures effectuées sur le sang et l'urine. Les conclusions seraient cependant les mêmes sur l'ensemble des trois périodes étudiées.

c) que des transferts ioniques effectués dans l'oviducte peuvent varier indépendamment des concentrations plasmatiques (cas de Ca^{++} et K^+).

3. Relation entre la qualité de l'albumen et sa composition minérale

On sait que la structure physique du blanc est essentiellement due à son contenu en mucine, protéine susceptible de former un gel colloïdal dans des conditions physico-chimiques bien définies. Il est supposé depuis longtemps que plusieurs facteurs peuvent influencer la force de ce gel, parmi lesquels le pH et la présence d'ions inorganiques dans le milieu (MCNALLY, 1943). Il est par ailleurs possible que la mucine n'intervienne pas seule mais que l'albumen soit le siège d'interactions interprotéïnes (ovomucine \times lysozyme) (HAWTHORNE, 1950), elles-mêmes sous la dépendance du pH et des ions présents (COTTERILL et WINTER, 1955).

Comparant des œufs de haute et faible qualité initiale, CONRAD et SCOTT (1942) trouvent peu de différence dans le contenu électrolytique du blanc sauf pour la concentration du sodium qui apparaît plus élevée chez les œufs de qualité supérieure. CUNNINGHAM, COTTERILL et FUNK (1960) trouvent de même une corrélation positive entre les unités Haugh et la teneur en sodium du blanc chez des oiseaux de 4 mois environ, cette relation disparaissant chez des animaux plus âgés ; les variations des autres éléments minéraux apparaissent peu liées à la qualité du blanc sur l'ensemble d'une année de production. Les auteurs en concluent que la force ionique de l'albumen doit peu influencer sa qualité, tout au moins par le biais de l'interaction ovomucine \times lysozyme. Ces résultats, joints à ceux obtenus *in vitro* par COTTERILL et WINTER (1955), tendent donc à démontrer l'existence d'une liaison spécifique et positive entre la qualité de l'albumen et sa teneur en sodium (sans que soit exclue l'action du pH démontrée surtout au cours de la conservation des œufs, voir BROOKS et TAYLOR, 1955, et SAUVEUR, 1967, pour bibliographie).

A l'opposé, DRAPER (1966), constate qu'un accroissement de la qualité d'albumen va de pair avec une diminution très nette des concentrations du sodium et du potassium et une augmentation de la teneur en Ca qui peut atteindre une valeur 6 fois supérieure à celle des œufs les plus mauvais. Ce résultat conduit l'auteur à supposer que l'ion Ca^{++} pourrait jouer lui aussi un rôle important dans les interactions protéïques évoquées plus haut. Nos observations conduisent à une conclusion voisine puisque dans tous les cas la qualité de l'albumen est liée de façon inverse à sa teneur en sodium ($r = -0,55$ sur l'ensemble des œufs) alors que nous trouvons des variations parallèles entre concentration calcique et unités Haugh ($r = 0,63$).

Notons de plus que, malgré l'amplitude des variations de chaque électrolyte, il ne semble pas que la force ionique du blanc varie beaucoup. Si nous la calculons⁽¹⁾ à partir de moyennes de concentration par traitement, nous obtenons les valeurs du tableau 6. Bien qu'approximatives (puisqu'elles ne tiennent pas compte des concentrations en ions Mg^{++} et SO_4^{-}) elles permettent de constater que la force ionique moyenne ne varie pratiquement pas d'un lot à l'autre, et reste de toute façon sans rapport apparent avec la qualité de l'albumen. Cette constance peut facilement être

(¹) Par la formule $\mu = \frac{1}{2} \sum (Z^2 C)$ où μ désigne la force ionique, Z la valence de chaque ion et C sa concentration en moles/litre d'albumen.

expliquée par les variations en sens opposé des anions Cl^- et HCO_3^- et des cations Na^+ et Ca^{++} . C'est donc bien à un effet spécifique d'un ou plusieurs ions qu'il faut plutôt rattacher les variations d'unités Haugh.

TABLEAU 6

Force ionique de l'albumen
(Calculée à partir des moyennes de concentration/traitement
des ions HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++})

| | Lot T | A | B | C | D |
|--|---------|---------|---------|---------|------------------------|
| Période pré expérimentale | 0,1 319 | 0,1 321 | 0,1 305 | 0,1 271 | 0,1 329 |
| 2 ^e période de traitement (j_{10} - j_{15}) | 0,1 384 | 0,1 366 | 0,1 350 | 0,1 335 | 0,1 350 ⁽¹⁾ |

⁽¹⁾ Chiffres identiques à la valeur (0,13) choisie par BROOKS et PACE (1938) comme étant celle d'une solution de NaCl présentant le même abaissement du point de congélation ($-0,45^\circ\text{C}$) que le blanc d'œuf mais probablement inférieure à la force ionique vraie de l'albumen (voir SAUVEUR, 1969 b).

Les calculs de corrélation multiple montrent que le pH (donc le rapport $\text{HCO}_3^-/\text{pCO}_2$) et la concentration en calcium sont les paramètres les plus liés à la qualité du blanc et que de ce point de vue, les variations de teneur en Na^+ , K^+ et Cl^- sont presque négligeables devant celles en Ca^{++} .

Il apparaît enfin que la qualité de l'albumen est indépendante des variations de matière sèche; ce n'est donc par cette voie que l'acidose modifie les valeurs d'unités Haugh. Ce résultat est à rapprocher de celui de HUNT et AITKEN (1962) qui démontrent que le chlorure d'ammonium n'affecte pas le contenu en eau de l'albumen malgré son action diurétique.

CONCLUSIONS

L'étude d'acidoses métaboliques chez la Poule nous a permis d'obtenir de nombreux résultats relatifs aux caractéristiques de l'albumen de l'œuf. Il apparaît que la composition électrolytique de ce milieu dépend énormément de l'équilibre acido-basique de l'animal et que, si la force ionique en est finalement peu modifiée, la répartition des différents anions et cations peut être totalement changée. La comparaison de ces résultats avec ceux relatifs à la « qualité » du blanc exprimée en unités Haugh, montre que le pH et la concentration en Ca^{++} pourraient être deux facteurs déterminants de la structure physique de l'albumen de l'œuf.

Reçu pour publication en mars 1969

RÉMERCIEMENTS

Nous exprimons tous nos remerciements à M. ARBONNIER et TOMASSONE du Centre de Biométrie de l'I. N. R. A. qui ont effectué pour nous le calcul de régression progressive multiple entre les variables étudiées.

SUMMARY

EXPERIMENTAL ACIDOSIS IN LAYING HENS

II. EFFECT ON MINERAL COMPOSITION OF TRUE EGG WHITE

In 40 *Leghorn* laying hens 29 weeks old the effect was studied of supplements of NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, HCl and H_2SO_4 , all equivalent to 3 per cent NH_4Cl , on the quality of egg white measured in Haugh units, the pH, the pCO_2 and the contents of Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- and total P. Measurements were made about the 2nd, 12th and 22nd days after starting treatment.

The parameters studied were little related to the duration of treatment and very soon showed large differences. On the other hand, the type of supplement had a determining role. Thus NH_4Cl and HCl on the one hand and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and H_2SO_4 on the other hand had the same effect on almost all the features studied. This showed that the NH_4^+ ion was not involved except as an endogenous source of H^+ ions.

When the same amount of H^+ ions was added to the diet the anion which accompanied them played the principle role: Cl^- greatly affected the characteristics of the albumen which remained unchanged when SO_4^{--} was added. As an example average changes in albumen due to intake of 3 per cent NH_4Cl were as follows: Haugh units + 6.2 per cent, calcium + 225 per cent, chloride + 33.7 per cent, potassium + 8.7 per cent, sodium - 23.8 per cent, bicarbonate - 64.7 per cent, pH - 3.6 per cent and pCO_2 - 24.7 per cent. All the changes were significant.

Comparing these results with those recorded in blood (SAUVEUR, 1969 a) it seemed that the quality of egg white was related to the pH and availability of bicarbonate of blood and also to pH and calcium content of the albumen itself. The other elements, Na^+ , K^+ and Cl^- seemed to be involved only secondarily.

Finally we show that the pH and the contents of HCO_3^- , Cl^- and Na^+ of the albumen reflect the composition of blood plasma while the transfer of Ca^{++} and K^+ to the egg white increase under the influence of acidosis independently of the concentrations in plasma.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMIN J., 1968. *Thèse de Doctorat d'Université*, Faculté des Sciences. Paris.
- BROOKS J., PACE J., 1938. The distribution of carbon dioxide in the Hen's egg. *Proc. R. Soc. (London)*, *Sér. B*, **126**, 196-209.
- BROOKS J., TAYLOR D. J., 1955. Eggs and egg products. *Fd Invest. Special Report*, **60**.
- CONRAD R. M., SCOTT H. M., 1942. Differences between high and low quality fresh eggs. *Poult. Sci.*, **21**, 77-80.
- COTTERILL O. J., WINTER A. R., 1955. Egg white lysozyme-3. The effect of pH on lysozyme-ovomucine interaction. *Poult. Sci.*, **34**, 679-686.
- CUNNINGHAM F. E., COTTERILL O. J., FUNK E. M., 1960. The effect of season and age of bird-2. On the chemical composition of egg white. *Poult. Sci.*, **39**, 300-308.
- DRAPER M. H., 1966. The accumulation of water and electrolytes in the egg of the hen. In HORTON-SMITH C., AMOROSO E. C., *Physiology of the domestic fowl* (BEMB Symposium n° 1), 63-74, Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
- EFROYMSON N. A., 1962. Multiple regression analysis. In RALSTON A., WILF H. S., *Mathematical Methods for Computers*, 191-202, John Wiley, New-York.
- HALL K. N., HELBACKA N. V., 1959. Improving albumen quality. *Poult. Sci.*, **38**, 111-114.
- HELBACKA N. V., CASTERLINE J. L., SMITH C. J., 1963. The effect of high CO_2 atmosphere on the laying hen. *Poult. Sci.*, **42**, 1082-1084.
- HUNT J. R., AITKEN J. R., 1962. The effect of ammonium and chloride ions in the diet of hens on egg shell quality. *Poult. Sci.*, **41**, 434-438.
- HUNT J. R., 1964. Electrolyte changes in albumen on feeding NH_4 . *Poult. Sci.*, **43**, 1331 (abstr.).
- HAWTHORNE J. R., 1950. The action of egg white lysozyme on ovomucoid and ovomucine. *Biochem. Biophys. Acta*, **6**, 28-35.
- MC NALLY F. H., 1943. Some characteristics of the ovomucin gel of egg white. *Poult. Sci.*, **22**, 25-29.
- MONGIN P., 1968. Keeping laying hens in CO_2 enriched atmosphere. The action of CO_2 on the shell quality. *3rd European Poult. Conf. Jerusalem — Work. Group. N° 7*, p. 5 (abstr.).

- MONGIN P., LACASSAGNE L., 1966. Rythme respiratoire et physiologie de la formation de la coquille de l'œuf. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **6**, 101-111.
- SAUVEUR B., 1967. Conservation des œufs de poule et éclosivité. Essai de comparaison avec les données obtenues sur la conservation des œufs de consommation. *Ann. Zootech.*, **16**, 89-115.
- SAUVEUR B., 1968. Keeping laying hens in CO_2 enriched atmosphere. The action of CO_2 on the albumen quality. *3rd European Poultry Conf. Jerusalem* — Work. Group N° 7, p. 5 (abstr.)
- SAUVEUR B., 1969 a. Acidoses métaboliques expérimentales chez la poule pondeuse. I. Action sur l'équilibre acido-basique du sang et l'excrétion rénale des électrolytes. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **9**, 379-391.
- SAUVEUR B., 1969 b. Étude de la composition minérale des différentes zones de l'albumen de l'œuf chez deux races de poule. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **9**, 563-573.
-