

ÉTUDE DE LA COMPOSITION ÉLECTROLYTIQUE DES DIFFÉRENTES ZONES DE L'ALBUMEN DE L'ŒUF CHEZ DEUX RACES DE POULE

B. SAUVEUR

avec la collaboration technique de J. ROCARD

*Station de Recherches avicoles,
Centre national de Recherches zootechniques, 78 - Jouy-en-Josas
Institut national de la Recherche agronomique*

SOMMAIRE

Immédiatement après la ponte de l'œuf, nous avons mesuré dans les trois zones principales de l'albumen, (blanc fluide interne, épais et fluide externe) les concentrations du sodium, potassium, chlore et phosphore total (32 échantillons) ainsi que le pH et la $p\text{CO}_2$ (46 échantillons).

Les concentrations en ions bicarbonates ont été calculées à partir des valeurs de pH et de $p\text{CO}_2$ au moyen de l'équation d'Hasselbach-Henderson dont les constantes numériques font l'objet d'une discussion particulière.

Il apparaît que les ions Na^+ , K^+ , Cl^- et HCO_3^- sont uniformément répartis dans tout l'albumen. A l'opposé, il existe un gradient décroissant de concentration en phosphore depuis le blanc fluide interne jusqu'au blanc fluide externe, égal à 10 p. 100 environ de la valeur la plus élevée. La $p\text{CO}_2$ du blanc diminue dans le même sens de 137 à 79 mm Hg tandis que le pH augmente de 7,39 à 7,62.

Les résultats obtenus montrent également que la race de la poule affecte la teneur de l'albumen en sodium, potassium et phosphore, effet variable suivant la zone de blanc considérée.

Ces résultats sont discutés en fonction des connaissances déjà acquises sur la composition de chaque zone du blanc, le mode de transfert des électrolytes à l'albumen de l'œuf et l'équilibre acido-basique du fluide utérin.

INTRODUCTION

On distingue dans l'albumen de l'œuf pondu 4 zones qui diffèrent à la fois par leur composition protéique et leurs propriétés physiques : blanc fluide interne, blanc épais, blanc fluide externe et chalazes. Cette stratification apparaît dans l'utérus au moment de la phase « d'hydratation du blanc » ou *plumping* (STURKIE, 1965) ; selon BURMESTER (1940), elle se poursuit même durant le dépôt de la coquille puisque le volume des zones fluides interne et externe continue à croître (aux dépens du blanc

épais) alors que l'accroissement pondéral de l'albumen total est terminé. Simultanément, le contenu électrolytique de l'albumen total est modifié par un apport d'ions potassium, bicarbonates (BEADLE, CONRAD et SCOTT, 1938 ; DRAPER, 1966) et chlorures. On peut donc se demander si la composition minérale de l'albumen dans l'œuf pondu varie suivant la zone considérée. La seule indication que nous possédions découle d'une hypothèse de BROOKS et PACE (1938) qui, à la suite des travaux de ROMANOFF et ROMANOFF (1929) supposent que le blanc liquide externe doit contenir davantage de bicarbonates et moins de CO_2 que le blanc épais.

Afin d'apporter d'autres éléments de réponse à ce problème, nous avons étudié les variations du système CO_2 , HCO_3^- à l'intérieur de l'albumen.

Nous avons par ailleurs mesuré les concentrations de trois ions : sodium, potassium et chlore, ainsi que celle en phosphore total dans les trois zones principales du blanc (ferme, fluide interne et externe).

MATÉRIEL, ET TECHNIQUES

Au cours d'une première expérience nous avons analysé 32 œufs (16 premiers et 16 seconds de série) provenant de 16 poules dont 8 étaient de race *Leghorn* et 8 issues d'un croisement *Rhode Island Red* \times *Wyandotte*.

Le jour même de la ponte, les œufs sont cassés au-dessus d'un filtre Büchner semblable au tamis décrit par HOLST et ALMQUIST (1931). Dans ces conditions, le blanc fluide externe s'écoule le premier ; le blanc épais est ensuite perforé pour laisser s'écouler la fraction fluide interne. La partie restant sur le filtre est alors séparée du jaune ; elle est constituée des chalazes et du blanc épais que nous ne dissocions pas dans cette étude. Les temps de passage accordés à chaque fraction sont ceux définis par EISEN et BOHREN (1963).

Des échantillons de 2 à 5 ml de chaque couche d'albumen sont ainsi constitués. Après passage à l'étuve à 100°C pendant 24 heures, ils sont minéralisés au four à 420°C pendant 18 heures environ. Les cendres sont reprises par de l'acide nitrique N/5 ; la solution ainsi obtenue est filtrée sur filtre sans cendre et ajustée à 50 ou 100 ml avec les eaux de rinçage. Cette méthode nous assure pour le chlore (élément le plus sensible à la calcination) des pourcentages de récupération variant de 99 à 100 p. 100.

Le phosphore est dosé à l'Autoanalyser Technicon, par colorimétrie au vanado-molybdate d'ammonium, le sodium et le potassium par spectrophotométrie de flamme (Eppendorf). Les ions Cl^- sont précipités par du nitrate d'argent N/100, la fin de précipitation étant appréciée par méthode potentiométrique (Electrode Radiometer type P 401).

Dans une deuxième expérience, nous étudions le pH et la pCO_2 des différentes zones de l'albumen afin d'en déduire la concentration des ions bicarbonates. Les mesures sont effectuées durant la demi-heure suivant la ponte, sur 46 œufs provenant uniquement de poules *RIR* \times *Wyandotte*.

La technique de séparation des trois couches décrites ci-dessus n'étant pas applicable à une mesure de pCO_2 , nous prélevons immédiatement après avoir cassé l'œuf, chacun des trois échantillons d'albumen au moyen de seringues qui sont ensuite fermées au mastic jusqu'au moment de la mesure (délai maximum de 10 minutes).

Le pH et la pCO_2 sont mesurés suivant la méthode utilisée pour le plasma par MONGIN et LACASAGNE (1966) et les bicarbonates calculés au moyen de l'équation d'Hasselbach-Henderson.

$$\text{pH} = \text{pK}'_1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{a \cdot \text{pCO}_2}$$

avec : pK'_1 = première constante apparente de dissociation de l'acide carbonique dans l'albumen.

Il nous a donc fallu choisir les valeurs à attribuer aux coefficients pK'_1 et a . BROOKS et PACE (1938) calculent pK'_1 à partir de la valeur du pK_1 de l'acide carbonique à 25°C, diminuée du coefficient d'activité de l'ion HCO_3^- (donné par l'équation de Debye-Huckel). Comme nous mesurons la pCO_2 à 41°C afin de nous rapprocher le plus possible des conditions de la ponte, nous ne pouvons utiliser une telle valeur. On sait d'autre part que l'acide carbonique se dissout dans l'albumen suivant un processus identique à celui observé dans le sérum sanguin et en quantité à peu près équiva-

lente pour une même $p\text{CO}_2$ (BROOKS et PACE, 1939). Pour ces deux raisons, nous préférons utiliser la valeur du coefficient pK'_1 déterminée par HELBACKA *et al.* (1964) sur le sang de la poule et qui, en fonction du pH, peut être exprimée par $pK'_1 = -0,0492 \text{ pH} + 6,453$, soit $pK'_1 = 6,090$ à pH 7,35.

Nous pouvons vérifier indirectement la validité de ce choix à partir de la relation de FITZSIMMONS et SENDROY (1961) : $pK'_1 = pK_1 - 0,512 \sqrt{\mu}$ où μ désigne la force ionique du milieu. D'après nos propres résultats, ceux de DRAPER (1966) (pour l'ion Mg^{++}) et ceux rapportés par NEEDHAM (pour SO_4^{--} , PO_4H_2^- et PO_4H^-) la force ionique totale de l'albumen peut être estimée égale à 0,159. Les valeurs de pK_1 à 41°C trouvées par différents auteurs variant de 6,296 à 6,310, le pK'_1 ainsi calculé serait compris entre 6,09 et 6,11, valeurs compatibles avec celles choisies.

Nous avons d'autre part recalculé la valeur du coefficient a (constante de solubilité du CO_2 dans l'albumen) à partir des mesures effectuées par BROOKS et PACE (1938) : $p\text{CO}_2$, CO_2 total et CO_2 combiné. On peut en effet écrire : $\text{CO}_2 \text{ total} = a \cdot p\text{CO}_2 + \text{CO}_2 \text{ combiné}$ où $a \cdot p\text{CO}_2$ représente le CO_2 dissous. Nous aboutissons ainsi à une valeur moyenne de $a = 0,04217 \pm 0,0002 \text{ mM/l/mmHg}$ à 25°C. Or, SEVERINGHAUS *et al.* (1956) donne pour le plasma $a = 0,0425$ à 24°C et 0,0402 à 26°C résultats tout à fait concordants qui nous autorisent donc à prendre comme valeur de a pour l'albumen à 41°C celle déterminée par SEVERINGHAUS à la même température, soit 0,0282 mM/l/mmHg.

RÉSULTATS

Première expérience

L'ensemble des résultats de notre première expérience figure au tableau 1. Les concentrations du sodium, potassium et chlore sont exprimées en méq/litre de blanc.

TABLEAU I

Teneur en sodium, potassium, chlore et phosphore
de chaque zone de l'albumen de l'œuf
(en méq. et mg par litre d'albumen)

Élément	Zone					
	Blanc fluide interne		Blanc épais		Blanc fluide externe	
	Souche L ⁽¹⁾	RW ⁽²⁾	L	RW	L	RW
Na ⁺ (méq/l de blanc)	89,6 ⁽³⁾ 90,5	91,4 ± 1,20 ⁽⁴⁾	91,3 92,5	93,6 ± 0,9	90,0 91,6	93,1 ± 1,2
K ⁺ (méq/l)	37,6 34,9	32,2 ± 0,9	38,2 35,6	33,1 ± 0,8	37,0 34,7	32,4 ± 0,7
Cl ⁻ (méq/l)	45,1 46,0	46,9 ± 0,8	45,1 45,8	46,5 ± 0,8	46,6 47,3	48,0 ± 1,0
P (mg/l)	113,1 118,6	124,1 ± 2,0	108,6 112,1	115,5 ± 1,3	105,8 107,9	109,9 ± 2,2

⁽¹⁾ L : Leghorn.

⁽²⁾ RW : Croisement Rhode Island Red × Wyandotte.

⁽³⁾ Moyenne de 16 mesures (voir texte).

⁽⁴⁾ Moyenne générale des 2 races de poules $\pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Celle du phosphore ne peut être exprimée qu'en mg/litre de blanc ; en effet, ne connaissant pas le pH de l'albumen au moment des mesures, il n'est pas possible de déterminer les proportions relatives d'ions PO_4H^{--} et PO_4H_2^- . Un tel calcul ne serait d'ailleurs justifié que pour la fraction ionisée du phosphore, soit 8,7 p. 100 environ du P total (SMITH *et al.*, 1954).

Les valeurs du coefficient F, résumant l'analyse de la variance des résultats sont reportées au tableau 2.

1. Répartition des éléments étudiés dans chaque zone de l'albumen.

a) Comme le montrent les résultats des tableaux 1 et 2, il n'existe aucune différence significative de teneur en sodium, potassium et chlore entre les couches de blanc étudiées. On remarque en effet que, sur l'ensemble des œufs analysés, la différence entre 2 valeurs ne dépasse en aucun cas la somme des deux erreurs-types.

Bien que, pour les R. W., il apparaisse un écart de concentration en sodium de 2,2 méq/l d'albumen entre le blanc épais et le blanc fluide interne (93,6 et 91,4 méq/l respectivement), l'analyse statistique ne permet pas de conclure à l'existence d'une différence.

Il n'en est pas de même dans le cas du phosphore total pour lequel nous observons des différences de répartition hautement significatives. C'est ainsi que la concentration en P est plus élevée dans le blanc fluide interne que dans la zone la plus externe, la différence (10,7 mg/l de blanc) étant significative à moins de 0,5 p. 1 000. L'écart de 6,5 mg/l existant entre le blanc fluide interne et le blanc épais est également significatif. Quant à la différence entre le blanc épais et le blanc fluide externe (4,2 mg/l), elle approche le seuil de signification 5 p. 100.

Il existe donc réellement dans l'albumen de l'œuf un gradient de concentration en phosphore total, la couche la plus riche — la plus interne — ayant une concentration supérieure de 10 p. 100 à celle du blanc fluide externe.

b) Nous pouvons par ailleurs, exprimer les différentes concentrations des électrolytes en méq (ou mg) par litre d'eau présent dans chaque zone de blanc, afin de tenir compte des différences d'hydratation. Le calcul effectué est basé sur les données de ROMANOFF (1943) et MORAN (1936) :

	<i>Bl. fl. ext.</i>	<i>Bl. ép.</i>	<i>Bl. fl. int.</i>
	<i>Matière sèche p. 100</i>		
	—	—	—
ROMANOFF	10,7	12,85	13,70
MORAN	10,9	11,89	12,80
	<i>Poids spécifique</i>		
ROMANOFF	1,031 5	1,034 6	1,036 9

Il nous permet d'obtenir les trois relations

$$\begin{aligned} X_E &= 1,126x_A && \text{pour le blanc fluide externe} \\ X_E &= 1,1458x_A && \text{pour le blanc épais} \\ X_E &= 1,1593x_A && \text{pour le blanc fluide interne} \end{aligned}$$

TABLEAU 2
Analyse de la variance des données rapportées au tableau 1 (valeurs de F)

Comparaison envisagée	Blanc fluide interne/Blanc épais			Blanc épais/Blanc fluide externe			Blanc fluide interne/Blanc fluide externe												
	Na	K	P	Na	K	P	Na	K	P										
Effet { Zone d'albumen..... Race..... Interaction.....	2,69	0,99	9,76++	1,08	1,51	1,62	0,49	0,03	3,75*										
	3,01*	46,16+++	18,03+++	9,92++	43,0+++	1,36	2,63	42,95+++	6,47+										
	0,06	0,04	0,03½	0,19	0,08	0,48	0,20	0,23	0,40										

* $p < 0,1$ ($F_{0,1} = 2,81$).

+ significatif avec $p < 0,05$ ($F_{0,05} = 4,04$)

++ significatif avec $p < 0,01$ ($F_{0,01} = 7,19$)

+++ significatif avec $p < 0,001$ ($F_{0,001} = 12,2$)

où X_E est la concentration d'un élément dans un litre d'eau présent dans l'albumen et x_A la concentration du même élément dans un litre d'albumen. Le coefficient de transformation applicable au Bl. fl. ext. ainsi calculé est identique à celui (1,125) obtenu par BROOKS et PACE (1938) à partir de données totalement différentes.

Si nous appliquons ces trois coefficients aux moyennes de concentration par litre d'albumen rapportées au tableau 1, nous obtenons les valeurs nouvelles du tableau 3. Bien que, du strict point de vue de la composition hydro-minérale du blanc, ce mode d'expression soit préférable à celui du tableau 1, il ne fait pas apparaître de différences nouvelles entre les concentrations en ions Na^+ , K^+ et Cl^- des diverses zones.

TABLEAU 3

Moyennes des concentrations en ions Na^+ , K^+ et Cl^- et en phosphore total exprimées en méq. et mg par litre d'eau présent dans chaque couche d'albumen

	Blanc fluide interne	Blanc épais	Blanc fluide externe
Na^+ (méq/l d'eau).....	104,92	105,97	103,15
K^+ (méq/l d'eau).....	40,46	40,79	39,07
Cl^- (méq/l d'eau).....	53,33	52,48	53,26
P (mg/l d'eau).....	137,49	128,44	121,51

Nous voyons, par contre, de façon plus nette encore que le phosphore total du blanc se répartit suivant un gradient de concentration ; ainsi exprimée, la différence entre les deux zones fluides interne et externe représente 13,2 p. 100 de la teneur de cette dernière.

2. Action de la race de la pondeuse

Il apparaît, d'après les résultats des tableaux 1 et 2 que la race des animaux utilisés affecte grandement la composition minérale de l'albumen.

En ce qui concerne le sodium, les R.W. ont, sur l'ensemble des 3 zones du blanc, une concentration supérieure de 2,4 méq/l à celle des *Leghorn* (différence significative).

Pour chacune des 3 zones, les écarts sont les suivants :

	<i>Bl. fl. int.</i>	<i>Bl. ép.</i>	<i>Bl. fl. ext.</i>
(R.W.) — L	1,77	2,34	3,1 méq Na^+ /l alb.

Il semble donc que le déficit relatif en sodium des œufs de *Leghorn* se situe surtout au niveau du blanc fluide externe et que la différence va en s'atténuant à l'intérieur de l'œuf. Ceci se retrouve dans le tableau 2 où seule la comparaison Bl. ép./Bl. fl. ext. fait apparaître une différence entre souches hautement significative.

L'effet de la race de la pondeuse est encore plus marqué, mais inversé, pour la teneur de l'albumen en potassium puisque les œufs de *Leghorn* ont une concentration

moyenne supérieure de 5,02 méq/l d'alb. à celle des œufs de R.W. (différence significative à moins de 0,5 p. 1 000). Cet écart se retrouve dans les trois zones du blanc comme le montrent les chiffres suivants :

	<i>Bl. fl. int.</i>	<i>Bl. ép.</i>	<i>Bl. fl. ext.</i>
L — (R.W.)	5,37	5,06	4,64 méq K ⁺ /l alb.

En ce qui concerne la teneur en chlore du blanc, aucune différence significative due à la race de l'animal, n'a pu être mise en évidence ; les *Leghorn* tendent cependant à montrer des concentrations inférieures à celles des R.W. Remarquons enfin que, comme dans le cas du sodium, les *Leghorn* ont une concentration moyenne en phosphore inférieure à celle des R.W. (différence de 7,5 mg/l, hautement significative). Si nous considérons chaque zone du blanc, les écarts sont les suivants :

	<i>Bl. fl. int.</i>	<i>Bl. ép.</i>	<i>Bl. fl. ext.</i>
(R.W.) — L	11,0	6,9	3,1 mg P/l alb.

C'est donc dans le blanc fluide interne que la différence entre les animaux est la plus grande ; elle s'atténue dans les couches plus externes de l'albumen.

Deuxième expérience

Les résultats relatifs au système CO₂/HCO₃⁻ du blanc sont rapportés au tableau 4. Ils montrent qu'il existe, au moment de la mesure, un gradient très prononcé de pH et de pCO₂ à l'intérieur de l'albumen de l'œuf. Nous constatons en effet que le pH

TABLEAU 4

Variations du pH, de la pCO₂ et de la concentration en ions HCO₃⁻ entre les 3 zones de l'œuf

	Blanc fluide interne	Blanc épais	Blanc fluide externe
pH	7,39 ± 0,01 *	7,45 ± 0,01	7,62 ± 0,01
pCO ₂ (mmHg)	136,9 ± 4,9	118,4 ± 3,7	79,1 ± 2,8
(HCO ₃ ⁻) (méq/l de blanc)	76,9 ± 1,69	74,82 ± 1,6	77,71 ± 2,96
(HCO ₃ ⁻) (méq/l d'eau présent) ...	89,15	85,73	87,51

* Moyenne ± $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ calculée sur 46 valeurs.

varie de 7,39 à 7,62 entre la couche la plus interne et le blanc fluide externe. Chaque différence est très hautement significative puisque nous obtenons pour le test de Student les valeurs suivantes :

Comparaison Bl. liq. int./Bl. ép. : $t = 3,759$; $p < 0,001$

Comparaison Bl. liq. ext./Bl. ép. : $t = 10,173$; $p < 0,0005$

Il en est de même pour les variations de $p\text{CO}_2$ dont les paramètres statistiques sont, dans le même ordre :

$$t = 3,007 \quad \text{et} \quad t = 8,435$$

$$p < 0,01 \quad \quad \quad p < 0,0005$$

A l'opposé, il n'apparaît pas nettement de gradient de concentration en ions bicarbonates, fait en accord avec les variations simultanées du pH et de la $p\text{CO}_2$. Bien que les zones fluides interne et externe paraissent un peu plus riches que le blanc épais, les écarts ne sont cependant pas significatifs.

Afin de déterminer de façon plus précise les liaisons qui existent entre l'acidité de chaque zone d'albumen et la $p\text{CO}_2$, nous pouvons calculer les coefficients de régression entre la $p\text{CO}_2$ et la concentration de chaque zone en ions H^+ , notation de l'acidité qui a l'avantage d'être liée linéairement à la $p\text{CO}_2$.

Nous obtenons les trois équations suivantes :

Bl. liq. int. (H^+)	= 0,165 $p\text{CO}_2$ + 18,814	avec	$r_{\text{PCO}_2, (\text{H}^+)} = 0,746^{+++}$ (1)
Bl. épais (H^+)	= 0,162 $p\text{CO}_2$ + 17,490	—	$r = 0,619^{+++}$
Bl. liq. ext. (H^+)	= 0,192 $p\text{CO}_2$ + 9,386	r —	= 0,653 ⁺⁺⁺

où la $p\text{CO}_2$ est exprimée en mmHg et (H^+) en nanomoles/litre d'albumen.

Bien que la pente de la droite de régression relative au blanc fluide externe paraisse légèrement supérieure aux deux autres, la comparaison statistique des trois pentes ne permet pas de conclure à l'existence d'une différence significative ($F_{1,129} = 0,23$).

DISCUSSION

Première expérience

Les travaux de SATO *et al.* (1961) effectués sur des œufs conservés, ne font apparaître à aucun moment de différence de composition minérale entre le blanc épais et le blanc fluide. Ce résultat pouvant être la conséquence de mouvements d'eau qui se produisent à l'intérieur de l'œuf au cours de sa conservation (SAUVEUR, 1967), nous avons cherché ici à apprécier la répartition des électrolytes dans l'albumen de l'œuf le jour même de la ponte.

Nous aboutissons à une conclusion identique en ce qui concerne les concentrations en Na^+ , K^+ et Cl^- qui n'apparaissent pas statistiquement différentes entre les 3 couches d'albumen étudiées ici.

Il est cependant certain qu'il se produit au moment de l'hydratation de l'albumen des mouvements d'ions importants entre l'extérieur et l'intérieur de l'œuf.

Nous pouvons donc penser :

— soit que ces ions se répartissent uniformément dans l'albumen au fur et à mesure de leur transfert ;

(1) +++ : même signification qu'au tableau 2.

— soit que les différences éventuelles qui peuvent exister à un certain moment sont très rapidement amorties.

Il faudrait, pour pouvoir choisir entre ces deux hypothèses, étudier la composition minérale de l'albumen au moment même de sa stratification.

Nous démontrons, par contre, qu'il existe dans l'albumen de l'œuf frais pondu un gradient décroissant de concentration en phosphore total depuis le blanc fluide interne jusqu'au blanc fluide externe. On sait, par ailleurs, que le blanc fluide interne est plus riche en protéines que le blanc fluide externe, le blanc épais ayant une composition moyenne (ROMANOFF et ROMANOFF, 1949). LUSH et CONCHIE (1966) trouvent les valeurs suivantes pour la concentration en protéines (en g/100 ml) : Bl. fl. int. : 12,5 à 16,0 ; Bl. ép. : 9,75 à 13 ; Bl. fl. ext. : 8,0 à 11,0. Il est donc vraisemblable que le gradient de concentration en phosphore total trouvé dans notre expérience est dû essentiellement à sa fraction organique.

L'action de la race de la pondeuse sur la teneur en sodium et potassium de l'albumen peut être rapprochée de celle signalée par DRAPER (1966). Notons en effet que les œufs provenant des R. W. ont une « qualité d'albumen » (mesurée en Unités Haugh) inférieure à ceux des *Leghorn*, ce qui permet de supposer que cette qualité est inversement liée à la teneur en sodium. Une étude plus précise de ce phénomène a été effectuée par ailleurs (SAUVEUR, 1970).

Nous montrons de plus que des variations d'origine génétique existent également pour la concentration en phosphore total du blanc et qu'elles semblent s'exercer de façon différente suivant la couche d'albumen envisagée.

Deuxième expérience

Nous avons décrit avec précision au début de cet article les méthodes de mesure de « l'équilibre acido-basique » de l'albumen que nous avons utilisées. Si elles peuvent prêter à quelques critiques du fait notamment de la casse obligatoire de l'œuf au moment de la mesure, elles permettent cependant d'aboutir à des résultats intéressants. En particulier, nous montrons que chez des animaux en production normale, la $p\text{CO}_2$ de l'albumen de l'œuf varie suivant la zone envisagée de 80 à 140 mm Hg environ, donnée qui, à notre connaissance, n'avait pas été rapportée jusque-là.

Compte tenu des valeurs de pH, comprises entre 7,39 et 7,62, la teneur de ce milieu en ions bicarbonates est également très élevée (74 à 78 méq/l d'albumen). Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de ROMANOFF et ROMANOFF (1929) et ROMANOFF (1943). Ces auteurs trouvent en effet que le pH du blanc externe est, au moment de la ponte, supérieur de 0,05 unité à celui du blanc épais ; BROOKS et PACE (1938) estiment que cette différence pourrait être due à la fois à un déficit en CO_2 et à un excès d'ions HCO_3^- dans la zone externe. Si ce dernier n'est pas très marqué dans notre expérience, le gradient de CO_2 apparaît très nettement et peut être chiffré par la différence (en moles de CO_2 dissous) :

$$\Delta (\text{CO}_2) = a (p\text{CO}_2_{\text{Bl. ép.}} - p\text{CO}_2_{\text{Bl. fl. ext.}})$$

avec

$$a = 0,0282 \text{ mMole } \text{CO}_2/\text{litre albumen}/\text{mmHg (voir plus haut)}$$

Soit :

$$\Delta (\text{CO}_2)_{\text{Bl. ép.} - \text{Bl. liq. ext.}} = 1,108 \text{ mmole } \text{CO}_2/\text{litre d'albumen}$$

Ce gradient de $p\text{CO}_2$ doit pouvoir s'expliquer facilement par la simple proximité de la coquille dont la porosité permet les échanges gazeux.

Signalons enfin que les valeurs moyennes de pH, $p\text{CO}_2$ et (HCO_3^-) rapportées ici sont très proches de celles enregistrées par MUELLER (1967) sur le fluide utérin durant la formation de la coquille, à savoir, pour des animaux ne subissant aucun traitement :

pH : 7,42 à 7,44

(HCO_3^-) : 68,4 à 69,8 méq/l (CO_2 total = 72 à 73 méq/l)

$p\text{CO}_2$ (calculée à partir des données de ces auteurs) : 113 à 117 mm Hg.

EL JACK et LAKE (1967) trouvent une teneur du fluide utérin en CO_2 total qui varie de 82 à 91 méq/l entre le *plumping* et l'oviposition pour des pH de 7,65 et 7,71 respectivement, valeurs qui apparaissent donc plus élevées. Quoi qu'il en soit, nous voyons que le système $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ de l'albumen au moment de la ponte est très proche de celui du fluide utérin, fait que nous pensons digne d'être souligné.

Disons en conclusion qu'à la suite de cette étude, il ne semble pas nécessaire de tenir compte de l'hétérogénéité de l'albumen dans les études de concentrations des ions Na^+ , K^+ ou Cl^- puisque ces éléments sont uniformément répartis dans tout le blanc de l'œuf. Il n'en va pas de même pour les mesures de teneur en phosphore total et celles de pH ou de $p\text{CO}_2$, critères pour lesquels il conviendra de toujours considérer une même zone ; nous adoptons quant à nous le blanc liquide externe d'accès le plus aisé pour les études à effectuer immédiatement après la ponte.

Reçu pour publication en avril 1969.

SUMMARY

ELECTROLYTE COMPOSITION OF DIFFERENT ZONES OF EGG ALBUMEN IN TWO BREEDS OF HEN

Concentrations of sodium, potassium, chloride and total phosphorus in 32 samples and pH and $p\text{CO}_2$ also in 46 samples were measured in the three main zones of the albumen (thin internal white and thick and thin external white) immediately after the eggs had been laid.

Concentration of bicarbonate ions was calculated from the values for pH and $p\text{CO}_2$ with the equation of HASSELBACK-HENDERSON of which the numerical constants are the subject of special discussion.

It seemed that the Na^+ , K^+ , Cl^- and HCO_3^- ions are distributed uniformly throughout the albumen. In contrast, there is a decreasing gradient of concentration of phosphorus from the thin internal to the thin external white equal to about 10 per cent of the highest value. The $p\text{CO}_2$ of the white decreased in the same way from 137 to 79 mm Hg while the pH increased from 7.39 to 7.62.

The results also showed that the breed of hen studied affected the sodium, potassium and phosphorus contents of the albumen and the effect varied according to the zone of white considered.

The results are discussed in relation to knowledge already acquired on the composition of each zone of the white, the mode of transfer of electrolytes to egg albumen and acid-base balance of uterine fluid.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEADLE B. W., CONRAD R. M., SCOTT H. M., 1938. Composition of the uterine secretion of the domestic fowl. *Poultry Sci.*, **17**, 498-504.
- BROOKS J., PACE J., 1938. The distribution of carbon dioxide in the hen's egg. *Proc. r. Soc. (London), Sér. B*, **126**, 196-209.
- BURMESTER B. R., 1940. A study of the physical and chemical changes of the egg during its passage through the isthmus and uterus of the hen's oviduct. *J. exp. Zool.*, **84**, 445-500.
- 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* (B. E. M. B. symposium number one), 63-74, Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
- EISEN E. J., BOHREN B. B., 1963. Some problems in the evaluation of egg albumen quality. *Poultry Sci.*, **42**, 74-83.
- EL JACK M. H., LAKE P. E., 1967. The content of the principal inorganic ions and carbon dioxide in uterine fluids of the domestic hen. *J. Reprod. Fert.*, **13**, 127-132.
- FITZSIMMONS E. J., SENDROY J., 1961. Distribution of electrolytes in human blood. *J. Biol. Chem.*, **236**, 1595-1601.
- HELBACKA N. V. L., CASTERLINE J. L., SMITH C. J., SHAFFNER C. S., 1964. Investigation of plasma carbonic acid pK' of the chicken. *Poultry Sci.*, **43**, 138-144.
- HOLST W. F., ALMQUIST H. J., 1931. Measurement of deterioration in the stored hen's egg. *Hilgardia*, **6**, 49-60.
- LUSH I. E., CONCHIE J., 1966. Glycosidases in the egg albumen of the hen, the turkey and the japanese quail. *Biochim. Biophys. Acta*, **130**, 81-86.
- MONGIN P., LACASSAGNE L., 1966. Équilibre acido-basique du sang et formation de la coquille de l'œuf. *Ann. Biol., anim. Bioch. Biophys.*, **6**, 93-100.
- MORAN T., 1936. Rep. Fd Invest. Bd. Lond., H. M. S. O. cité par J. BROOKS, D. J. TAYLOR, 1955. Eggs and Egg products. *Fd Invest., Special Report*, n° **60**, p. 8.
- MUELLER W. J., 1967. Effects of spironolactone on laying pullets. *Poultry Sci.*, **46**, 742-749.
- NEEDHAM J., 1931. *Chemical embryology*. Cambridge University Press, p. 302.
- ROMANOFF A. L., ROMANOFF A. J., 1929. Changes in pH of albumen and yolk in the course of embryonic development under natural and artificial incubation. *Biol. Bull.*, **57**, 300-306.
- ROMANOFF A. L., 1943. *Food Res.*, , 286-291. Cité par BROOKS J. TAYLOR D. J., 1955. Eggs and Egg products. *Fd. Invest. Special Report*, **60**, p. 8.
- ROMANOFF A. L., ROMANOFF A. J., 1949. *The avian egg*, John Wiley, New York.
- SATO Y., NAKAMURA R., YOSHIKAWA Y., TAKAGI K., 1961. Studies on changes in stored shell eggs. Part III. On changes in the albumen minerals during storage (Abstr.) *Agric. Biol. Chem. Japan*, **25**, Az.
- SAUVEUR B., 1957. 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., 1970. Acidoses expérimentales chez la poule pondeuse. II. Action sur la composition minérale de l'albumen de l'œuf. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* **10** (1) (sous presse).
- SEVERINGHAUS J. W., STUFFEL M., BRADLEY A. F., 1956. Accuracy of blood pH and pCO₂ determinations. *J. appl. Physiol.*, **9**, 189-196.
- STURKIE P. D., 1965. *Avian Physiology* (second edition), Cornell University Press, Ithaca, New York.