

Réponse à la chaleur et à l'alimentation calcique séparée de poules pondeuses sélectionnées sur la consommation alimentaire résiduelle

BANGA-MBOKO H.¹, BORDAS A.², MINVIELLE F.², LEROY P.L.³

1 Institut de Développement Rural (I.D.R), Université Marien NGOUABI, B.P 69, Brazzaville, Congo-Brazzaville.

2 Laboratoire de Génétique Factorielle; INRA*, Centre de Recherche de Jouy-en-Josas, Domaine de Vilvert, Jouy-en-Josas, 78350 Cédex, France.

3 Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Département des productions animales, Service de génétique quantitative, 20 Bd de Colonster, B43, 4000, Liège, Belgique.

* Correspondance : Prof. P.L. Leroy, tél. : 00 32 (0)4/366.41.20, fax : 00 32 (0)4/366.41.22, email: pascal.leroy@ulg.ac.be

* Etablissement où l'expérience a été menée.

RESUME : Cette étude expose les résultats obtenus lors d'une expérience sur les répercussions de la chaleur sur les paramètres de production dans deux lignées de poules pondeuses sélectionnées sur la consommation résiduelle alimentaire et soumises à une alimentation calcique séparée. Pour dix variables, des interactions lignée x température se sont révélées significatives particulièrement pour le nombre de double, le poids moyen de l'œuf, le pourcentage de coquille, le poids de l'albumen, le poids du jaune, la consommation de l'aliment hors apport calcique, la consommation totale d'aliment, les consommations résiduelles et la longueur du tarse. Ces premières données indiquent que dans l'ensemble, la lignée à faible consommation résiduelle (R⁻) a donné une meilleure réponse à la chaleur en présence d'une alimentation calcique séparée avec par ailleurs une production d'œufs statistiquement semblable à la lignée à forte consommation résiduelle (R⁺), un pourcentage d'œufs cassés moins élevé (14,5 % contre 20,9 %), une production d'œufs de gros calibre (48,6 g contre 46,2 g). De même les paramètres tels, la solidité de la coquille et l'efficacité alimentaire demeurent en sa faveur. La diminution de la consommation résiduelle chez les poules R⁻ (environ 30 %) pour s'adapter à la chaleur constitue une originalité dans la sélection des deux lignées aviaires.

Partant de ces considérations, la combinaison de la lignée R⁻ avec certains gènes majeurs (cou nu et nanisme) connus pour leurs effets bénéfiques, mériterait d'être évaluée pour renforcer ses capacités d'adaptation à la chaleur, dans la perspective d'une aviculture fermière en zone tropicale.

INTRODUCTION

Chez les poules pondeuses, le rendement de la production d'œufs a été amélioré par la sélection en diminuant le poids corporel et en augmentant la ponte. Cependant, à poids égal et ponte égale, il subsiste entre poules d'un même troupeau des différences dans l'ingestion et l'efficacité d'utilisation des nutriments ingérés. Cette différence de consommation est appelée la consommation alimentaire résiduelle (R). Elle représente la fraction de l'ingéré total qui ne sert ni à couvrir les besoins d'entretien ni les besoins de production. Elle traduit en fait la partie improductive de l'aliment. Selon une revue de la littérature

(Tixier-Boichard *et al.*, 2002), ce concept aurait été proposé pour la première fois par Byerly en 1941 comme une approche pour limiter les coûts de production chez les poules pondeuses. Par la suite, il a été élargi aux mammifères (Labroue *et al.*, 1999). Cette fraction résiduelle alimentaire est actuellement utilisée en sélection pour améliorer l'efficacité alimentaire sans pour autant modifier le niveau de production des animaux. Dans la pratique, elle est exprimée par la différence entre la consommation observée (O) et une consommation théorique (T) prédite par une équation établie sur la base des besoins de production et les besoins

d'entretien du poids corporel. Le détail de cette équation est donné dans la section Matériel et Méthodes.

C'est à partir de cette variabilité résiduelle que Bordas et Mérat (1984) ont sélectionné dans une population de poule Rhode Island Red, deux lignées pour une faible (R⁻) ou une forte (R⁺) consommation alimentaire résiduelle. La différence de consommation résiduelle entre lignées a augmenté rapidement pour atteindre 25% de la consommation moyenne d'aliment des 2 lignées à la 19^e génération. Corrélativement la différence de la consommation observée entre lignées est du même ordre puisque les performances de ponte (nombre d'œufs,

poids moyen de l'œuf, âge au 1^{er} œuf) sont semblables (Bordas *et al.*, 1992). A température modérée, la lignée R⁺ a un pourcentage d'œufs mous et cassés significativement plus élevé et une coquille plus mince (Bordas *et al.*, 1992). Cependant, à température élevée, Bordas et Minvielle (1997) ont noté un renversement de priorité; la lignée à faible ingestion avait augmenté significativement le pourcentage d'œufs cassés et diminué considérablement sa ponte tandis que la lignée à forte consommation (R⁺) était restée au même niveau pour les œufs cassés tout en diminuant faiblement sa production d'œufs.

Or il a été démontré que l'un des moyens pour atténuer l'effet néfaste des températures élevées est l'alimentation calcique séparée (Mongin et Sauveur, 1975; Picard *et al.*, 1986; Uzu, 1989).

A partir de ces résultats il nous a paru intéressant de vérifier si l'apport calcique séparé pouvait être bénéfique à la lignée économe d'aliment afin de mieux couvrir son besoin spécifique en calcium.

L'alimentation calcique séparée (ACS) consiste à offrir séparément à la poule un régime appauvri en calcium en plus d'une source de calcium sous forme de particules reconnaissables telles que des coquilles d'huîtres pilées ou des granulées, permettant ainsi à la poule d'ajuster elle-même sa consommation calcique en fonction de ses besoins (Figure 1).

L'appétit spécifique de la poule pour le calcium a été investigué entre autres par Mongin et Sauveur (1974) qui ont étudié le comportement des poules soumises à un régime pauvre en calcium auxquelles on offrait une source séparée de calcium sous forme de coquilles d'huîtres. La consommation de calcium était diminuée de moitié les jours où la poule n'ovulait pas et les jours de repos comparativement aux jours d'ovulation seule et les jours mixtes d'ovulation et d'oviposition. Ces résultats suggèrent que le taux de calcium contenu dans l'aliment est un facteur de régulation de la consommation calcique. Lorsque celui-ci est séparé du reste des nutriments énergétique et azoté, la consommation de l'apport calcique peut s'effectuer indépendamment de l'aliment de base.

Tableau I: Composition et analyse chimique du régime alimentaire

Composition	Taux d'incorporation (%)
Blé	10,7
Maïs jaune	42,7
Orge	10,7
Son fin de blé	1,7
Graisse animale	0,5
Pois	12,8
Tourteau de soja	2,2
Tourteau de tournesol	7,5
Concentration protéinique	5,2
Luzerne	4,6
Carbonate de calcium	0,0
Minéraux et vitamines	1,0
Pigment	0,4
Composition chimique (%)	
Humidité	12,0
Matières minérales	6,3
Matières grasses	3,3
Sucres totaux	3,9
Cellulose	5,7
Protéines brutes	15,9
Calcium	1,5
Phosphore total	0,7
Energie métabolisable (Kcal)	2833

Par ailleurs, plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude des effets des températures élevées sur les performances des oiseaux. Il existe une littérature abondante démontrant l'effet dépressif des températures élevées sur les performances des poules pondeuses en alimentation conventionnelle (Boone et Hughes, 1971; Zolty et Halajkann, 1995; Bordas et Minvielle, 1997). Par contre, aucune étude n'a été publiée sur l'effet de la chaleur en contexte de l'ACS, en particulier sur les poules sélectionnées selon la consommation alimentaire résiduelle (critère R). Le but de ce travail était d'étudier l'effet de la chaleur, de la lignée et des interactions température x lignée en contexte d'alimentation calcique séparée sur les performances de ponte, l'efficacité alimentaire, la qualité de l'œuf et les caractéristiques morphologiques, chez les lignées aviaires R⁻ et R⁺.

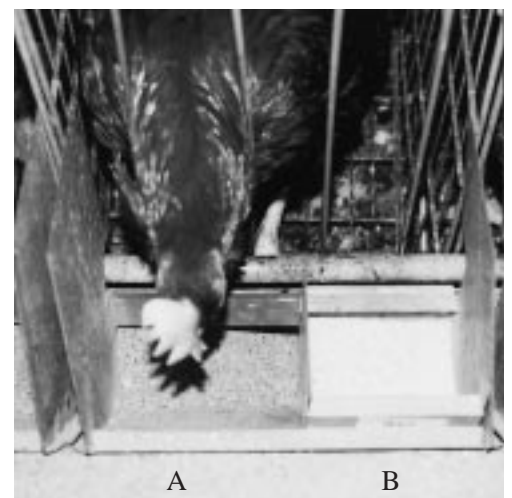


Figure 1: Poule recevant une alimentation calcique séparée. La première mangeoire (A) contient un aliment appauvri en calcium, sa composition est donnée au tableau I. L'apport calcique est distribué dans une seconde mangeoire (B) contenant uniquement des coquilles d'huîtres broyées (Banga-Mboko, 1998).

Tableau II : Effets de la température et de la lignée en alimentation calcique séparée sur les variables de la production des œufs.

Lignées → Variables ↓	Température ambiante				Analyse statistique		
	21°C		31°C		Niveau de signification		
	R ⁻	R ⁺	R ⁻	R ⁺	Température	Lignée	Interaction (lignée x température)
Age au 1 ^{er} œuf (j)	157,2	155,4	155,6	156,8	NS	NS	NS
Nombre d'œufs	63,6	69,2	51,6	55,2	***	NS	NS
Intensité de ponte 1 (%)	85,5	91,0	74,9	82,3	***	***	NS
Intensité de ponte 2 (%)	81,6	87,0	66,0	72,2	***	*	NS
Longueur des séries (j)	5,3	7,2	2,5	3,7	***	**	NS
Pauses (%)	4,5	4,6	11,8	11,7	***	NS	NS
Oeufs mous (%)	2,7	5,5	3,0	6,7	NS	NS	NS
Nombre de doubles	0,5	1,5	0,3	0,2	***	*	***
Oeufs cassés (%)	6,2	6,9	14,5	20,9	***	NS	NS
Poids moyen de l'œuf (g)	51,6	50,8	48,6	46,2	***	*	*

La ponte a été enregistrée sur une période de 77 jours. L'intensité de ponte 1 est le nombre d'œufs pondus par période de contrôle (moins les jours de pauses) par 100 poules, tandis que l'intensité de ponte 2 exprime le nombre d'œufs pondus par 100 poules durant la période de contrôle de 77 jours. Une série de ponte est le nombre d'œufs pondus à des jours successifs sans interruption. Un arrêt de ponte supérieur ou égal à deux jours est une pause. Les œufs mous sont des œufs sans coquille. Les œufs à deux jaunes sont appelés doubles.

NS = non significatif;
* = P < 0,05
** = P < 0,01
*** = P < 0,001

MATERIEL ET METHODES

Animaux et conditions expérimentales

Pour cette expérience, un lot de 178 poussins femelles provenant de la 21^e génération des lignées à faible et forte consommation alimentaire résiduelle obtenu en une seule éclosion a été utilisé. Ces poussins étaient issus de 9 coqs accouplés chacun à 6 poules. Les poussins ont été élevés d'abord au sol sur litière à la ferme expérimentale avec un aliment à 20% de matières azotées totales (MAT) et 2.800 Kcal EM/kg d'aliment entre 0 et 10 semaines, puis à 15,3% MAT et 2.750 Kcal EM/Kg d'aliment entre 10 et 18 semaines. Ils ont été soumis par la suite à un régime dégressif de température. En effet, la température a été fixée à 32 °C à un jour d'âge, puis diminuée progressivement pour atteindre 22 °C à 4 semaines et maintenue à environ 21 °C à 18 semaines.

A partir de la 18^e semaine, les poulettes de chaque lignée ont été transférées en nombre égal dans des cellules conditionnées équipées de cages individuelles de type *flat deck*, munies de deux mangeoires et d'un système

d'abreuvement automatique. Les cellules des lots témoins ont été maintenues à une température constante de 21 ± 1 °C. Celles des lots expérimentaux, après une période de transition de 2 semaines, ont été chauffées à 31 ± 1 °C jusqu'à la fin de l'expérience (lot chauffé). Les poules issues de chaque coq étaient réparties entre les deux lots (témoin et chauffé). A partir de la 18^e semaine, elles étaient soumises à 14 heures d'éclairage artificiel par jour et étaient nourries *ad libitum* avec un aliment commercial de base appauvri en calcium sous forme de farine en plus des coquilles d'huîtres marines distribuées séparément (Figure 1). L'apport calcique (calcicoque) renfermait 32,5% de calcium. La composition et l'analyse chimique du régime sont données au Tableau I.

Mesures

Elles ont porté sur quatre groupes de variables et concernaient la ponte, la qualité de l'œuf et la coquille, la consommation alimentaire et les caractéristiques morphologiques et pondérales.

Production des œufs

Depuis le passage des poules en cages, à partir du 1^{er} œuf pondu jusqu'à l'âge de 33 semaines, la ponte était enregistrée individuellement tous les jours. Ces données ont servi pour calculer la précocité, le nombre d'œufs pondus, l'intensité de ponte, la longueur des séries, le pourcentage de pauses, le pourcentage d'œufs cassés, et le nombre d'œufs mous. Durant cette période, les œufs pondus étaient numérotés par poule. Chaque semaine, ils étaient pesés puis enregistrés sur des fiches individuelles mentionnant le poids et le nombre d'œufs. Le poids moyen de l'œuf était calculé à la 3^e et à la 4^e semaine de ponte.

Le poids corporel et sa variation entre le début et la fin de l'expérience étaient mesurés ainsi que des dimensions des appendices non-emplumés (barbillons et tarse).

Caractéristiques de l'œuf et de la coquille

A partir de 32 semaines d'âge, des mesures relatives aux caractéristiques

Tableau III : Effets de la température et de la lignée en alimentation calcique séparée sur les caractéristiques de l'œuf et de la coquille

Lignées Variables	Température ambiante				Analyse statistique		
	21 °C		31 °C		Niveau de signification		
	R ⁻	R ⁺	R ⁻	R ⁺	Température	Lignée	Interaction (lignée x température)
Poids de l'œuf cassé (g)	51,7	51,20	48,8	46,6	***	NS	NS
Poids de la coquille (g)	4,3	3,90	3,7	3,40	***	*	NS
% coquille	8,3	7,60	7,6	7,4	***	***	*
Épaisseur de la coquille (0,01mm)	32,3	30,60	29,0	28,3	***	NS	NS
Épaisseur de l'albumen (0,01mm)	70,3	61,30	72,2	64,2	**	***	NS
Poids de l'albumen (g)	34,0	33,70	32,7	30,9	***	NS	*
Poids du jaune (g)	13,4	13,80	12,4	12,3	***	NS	*
Jaune/blanc	39,6	41,20	38,0	39,9	**	***	NS

Le poids de l'œuf cassé est le poids de l'œuf entier moins le poids de la coquille.

NS = non significatif:
* = P < 0,05
** = P < 0,01
*** = P < 0,001

Tableau IV: Effets de la température et de la lignée en alimentation calcique séparée sur la masse d'œufs et les paramètres alimentaires.

Lignées Variables	Température ambiante				Analyse statistique		
	21 °C		31 °C		Niveau de signification		
	R ⁻	R ⁺	R ⁻	R ⁺	Température	Lignée	Interaction (lignée x température)
Masse d'œufs (g)	1132,4	1186,0	856,0	912,8	***	NS	NS
Conso. d' aliment hors calcique (g)	2596,0	3428,5	2038,5	2548,7	***	***	***
Conso. de l'apport calcique (g)	160,0	147,4	99,3	91,6	***	NS	NS
Conso totale (g)	2756,0	3583,0	2138,0	2638,0	***	***	***
R1 (g)	-395,0	+345,4	-275,5	+194,3	NS	***	***
R2 (g)	-384,6	+368,5	-265	+217,7	NS	***	***
Indice de conso.(a)	2,4	3,0	2,6	3,0	NS	***	NS
Indice de conso.(b)	2,3	2,9	2,5	2,9	NS	***	NS

La masse d'œufs est obtenue en multipliant le nombre d'œufs par le poids de l'œuf. L'aliment hors apport calcique est celui indiqué au tableau I. L'apport calcique est essentiellement constitué de coquilles d'huîtres. La consommation totale d'aliment est la somme des deux aliments précités.

La consommation résiduelle (R) est la différence entre la consommation observée (O) et la consommation théorique (T) de l'aliment avec calcium (R1) ou sans calcium (R2).

R1= O1-T1
R2= O2-T2

L'indice de consommation est le rapport entre la masse d'œufs et la consommation totale d'aliment avec (ICa) ou sans (ICb) apport calcique.

ICa= Masse d'œufs / Consommation de l'aliment appauvri en calcium + apport calcique

ICb= Masse d'œufs / Consommation de l'aliment appauvri en calcium sans apport calcique

NS = non significatif:
* = P < 0,05
** = P < 0,01
*** = P < 0,001

Tableau V: Effets de la température et de la lignée en alimentation calcique séparée sur les variables morphologiques et pondérales

	Température ambiante				Analyse statistique			
	21 °C		31 °C		Niveau de signification			
Variables	Lignées	R ₋	R ₊	R ₋	R ₊	Température	Lignée	Interaction (lignée x température)
Poids à 10 semaines (g)		892,0	882,6	914,9	875,9			
Poids à 18 semaines (g)		1599,0	1630,7	1609,5	1651,5	NS	NS	NS
Poids corporel moyen (g)		2009,0	2006,7	1749,3	1702,4	***	NS	NS
Variation de poids (g)		56,3	51,5	32,3	12,8	**	NS	NS
Longueur des barbillons (mm)		17,8	30,0	19,5	29,0	NS	***	NS
Longueur du tarse (mm)		102,4	109,4	102,1	108,9	NS	***	*
Diamètre du tarse (mm)		93,0	93,7	93,0	92,9	NS	NS	NS

La poids de l'œuf cassé est le poids de l'œuf entier moins le poids de la coquille.

NS = non significatif;
 * = P < 0,05
 ** = P < 0,01
 *** = P < 0,001

de l'œuf (poids du jaune et hauteur de l'albumen) et de la coquille (poids et épaisseur) ont été effectuées sur 3 œufs par poule. Chaque œuf était d'abord pesé puis cassé dans un bœcher pour recueillir le jaune et le blanc. Le jaune, une fois séparé du blanc était immédiatement pesé. La coquille par contre, était d'abord nettoyée puis séchée pour être pesée le lendemain. Le poids de l'albumen était déduit par différence entre le poids de l'œuf et le poids du jaune et de la coquille. La hauteur de l'albumen (en mm) était mesurée à l'aide d'un micromètre tripode à 1 cm du jaune des œufs cassés et étalés sur une surface plane. L'épaisseur de la coquille (en 0,01 mm) à l'état sec, était déterminée à l'aide d'un palmer sur un fragment de coquille.

Mesure de la consommation résiduelle et des indices de consommation.

A partir des mesures de la période de 28 jours précédemment définie, une consommation totale (O₁), somme de l'aliment de base et de calcium était calculée.

La consommation théorique (T) a été estimée en tenant compte ou non de la source de calcium. Dans le premier cas, c'est à dire avec la source de calcium incluse, une équation de régression multiple (Byerly *et al.*, 1980) avec la valeur 0,5 pour exposant affectant le poids corporel a été établie sur l'ensemble des poules:

$T_1 = 54,6P^{0,5} + 1,77 P + 1,89E - 1545,9$, où P représente affectant le poids corporel ΔP la variation de poids et E la masse d'œufs pondus durant la période de 28 jours. La différence entre T₁ (consommation théorique) et la consommation observée (O₁), représente la consommation résiduelle R₁.

A partir de la consommation source de calcium exclue, une seconde équation T₂ a été calculée de la même façon.

$T_2 = 48,7 P^{0,5} + 1,73 \Delta P + 1,75 E - 1287,7$ (Byerly *et al.*, 1980)

La différence entre la consommation théorique (T₂) et la consommation observée (O₂) représente une consommation résiduelle R₂ sur la fraction de l'ingestion alimentaire, à l'exclusion du nutriment calcique.

Deux indices de consommation ont été également calculés, les détails sont donnés directement dans le Tableau 2.

Méthodes et analyses statistiques

Pour chaque variable (après transformation en arc sinus racine carrée pour les variables exprimées en pourcentage), une analyse de la variance a été conduite selon le modèle linéaire suivant:

$X_{ijkl} = \mu + L_i + T_j + (LxT)_{ij} + (C/L)_{ik} + e_{ijkl}$

X_{ijkl} : représente la mesure sur la poule l issue du k^e coq (C) de la lignée (L) et type j ayant été maintenue au niveau j de température (T)

L_i : l'effet fixe de la lignée

T_j : l'effet du traitement (température)

(LxT)_{ij} : l'effet de l'interaction entre les effets du traitement (température) et de la lignée

(C/L)_{ik} : l'effet aléatoire du coq

e_{ijklm} : l'erreur aléatoire résiduelle

Toutes ces analyses ont été effectuées avec la procédure General Linear Model (GLM) du progiciel SAS (SAS User's Guide: Statistics, Statistic Institute Inc., Cary NC, 1988).

RESULTATS

Aucune mortalité pouvant être attribuée à l'effet du traitement n'a été observée au cours de l'expérience. Les moyennes selon le traitement et la lignée sont données aux tableaux II, III, IV et V. Dans ces tableaux figure également la signification des effets de la température, de la lignée et de l'interaction lignée X température.

Effet de la température et de la lignée sur la production des œufs.

Le tableau II relatif aux variables de la production des œufs montre qu'indépendamment de la lignée, la température a réduit de façon significative

la plus part des variables étudiées. Cette réduction a été de 20 % pour le nombre d'œufs, 11 et 18 % pour les intensités de ponte, 51 % pour la longueur des séries 7,5 % pour le poids moyen des œufs le nombre de doubles. En revanche, la température a été sans effet sur la précocité des poules et le pourcentage d'œufs mous. Malgré des séries de ponte plus longues et des intensités de ponte plus élevées chez la lignée R⁺; le nombre d'œufs pondus a été statistiquement semblable dans les deux lignées. Cependant, lignée R⁻ a produit moins d'œufs cassés à température élevée que la lignée R⁺ (14,5 % contre 20,9 %).

Deux interactions se sont révélées significatives notamment pour le poids moyen de l'œuf ($P < 0,05$) et le nombre de doubles ($P < 0,001$).

Effets de la température sur la qualité de l'œuf et de la coquille.

Les résultats consignés au Tableau III montrent que la température influence de manière significative ($P < 0,001$ ou $P < 0,01$) les différents paramètres décrivant les caractéristiques de l'œuf et de la coquille. La lignée R⁻ a produit des œufs plus gros à coquille plus épaisse à la fois en absolu qu'en pourcentage. Il en a été de même pour le poids de l'œuf cassé ($P < 0,05$), le pourcentage de coquille ($P < 0,05$), l'épaisseur de l'albumen ($P < 0,001$) et le poids de l'albumen ($P < 0,1$) dont les valeurs ont été plus intéressantes dans cette même lignée. Trois interactions significatives ont été observées et concernent: le pourcentage de coquille ($P < 0,05$), le poids de l'albumen ($P < 0,05$) et le poids du jaune ($P < 0,05$).

Effets de la température sur l'efficacité alimentaire

Le tableau IV montre qu'indépendamment de la lignée, la masse d'œufs et les consommations d'aliment appauvri en calcium, la consommation de l'apport calcique et la consommation totale ont été significativement diminuées par la température.

La consommation totale d'aliment a connu une diminution de 26,4 % dans la lignée R⁺ contre 22,4 % seulement dans la lignée R⁻ lorsque la température passe de 21 à 31 C. De même la

consommation d'aliment hors apport calcique a été réduite de 21,5 % et 34 % respectivement dans la lignée R⁻ et R⁺. Les consommations résiduelles, R₁ et R₂, ont été diminuées dans les deux lignées. Par contre la consommation du nutriment calcique a été réduite dans les mêmes proportions chez les 2 lignées à température élevée. Par ailleurs, la consommation totale d'aliment ($P < 0,001$) a été plus importante dans la lignée R⁺; cependant, la meilleure efficacité alimentaire (indice de consommation) a été logiquement obtenue chez la lignée R⁻ ($P < 0,001$).

Le tableau IV, met en regard quatre interactions hautement significatives ($P < 0,001$) pour la consommation d'aliment, source calcique exclue ou incluse, et les consommations résiduelles source de calcium incluse ou exclue.

Effets de la température sur les caractéristiques morphologiques et pondérales

Le traitement a eu un effet significatif sur le poids corporel moyen ($P < 0,001$) et la variation de poids ($P < 0,05$), sans pour autant affecter le diamètre du tarse et le poids à 18 semaines. Naturellement plus développé chez la lignée R⁺, la longueur des barbillons a montré un accroissement plus important chez la lignée R⁻ (+ 10 %). Les résultats sont consignés dans le Tableau V. Une seule interaction significative a été notée sur la longueur du tarse.

DISCUSSION

L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet la chaleur dans le contexte de l'alimentation calcique séparée chez les lignées R⁻ et R⁺. Les résultats que nous avons obtenus sur l'effet de la température élevée sur la consommation d'aliment, la qualité de l'œuf et de la coquille, et sur la productivité des poules pondeuses sont connus depuis fort longtemps et sont conformes aux nombreuses publications sur le sujet (Tanor *et al.*, 1984 ; Njoya, 1995 ; Gowe et Fairfull, 1995). L'alimentation calcique séparée a été expérimentée entre autres par Mongin et Sauveur (1974), Mongin et Sauveur (1975), Picard *et al.*, (1986) puis Uzu (1989) et préconisée assez récemment pour justement limiter

l'effet dépressif de la température chez la poule pondeuse. Les résultats que nous avons obtenus à ce propos sont en conformité avec ceux de Bordas et Minvielle (1997) qui ont testé les lignées R⁻ et R⁺ à température élevée mais pas en combinaison avec le mode d'apport calcique.

Les effets lignées observés sur les variables de ponte, l'efficacité alimentaire et la qualité de l'œuf et de la coquille, demeurent analogues à ceux constatés tout au long de la sélection des par Bordas et Mérat (1984), Bordas et collaborateurs (1992), Bordas et Minvielle (1997), Banga-Mboko (1998) et Banga-Mboko et collaborateurs (2001).

Par contre un total de dix interactions significatives sont apparues entre la lignée et la température sur l'ensemble des paramètres mesurés au cours de l'expérience. Ces interactions constituent un atout dans la sélection des lignées aviaires selon le critère R. En effet, nos données s'avèrent plus intéressantes que ceux obtenus par Schulman *et al.*, (1994) sur la race Leghorn, en ce qui concerne la production des œufs, le poids et la masse des œufs. Toutefois, nos observations étant limitées à 77 jours mériteraient d'être confirmées sur une période plus longue portant sur des échantillons de plus grande taille.

Par contre, il est intéressant de noter ici que le pourcentage d'œufs cassés de la lignée R⁻ est moins élevé que chez la lignée R⁺ alors que dans l'expérience de Bordas et Minvielle (1997), seule la R⁻ augmentait son pourcentage d'œufs cassés à température élevée. Il apparaît clairement que la lignée R⁻ utilise au mieux le calcium lors d'un stress thermique. Ces premières indications confirment la meilleure qualité de l'œuf et de la coquille obtenue avec cette lignée à 31°C. Par ailleurs la diminution du pourcentage de coquille chez la lignée R⁻ est tout à fait normal car il est connu que la production d'un œuf plus gros entraîne un pourcentage de coquille un peu plus faible (Cabrera, 1981). Par contre, la consommation totale d'aliment ($P < 0,001$) et les consommations de l'aliment hors apport calcique ont été plus élevées dans la lignée R⁺. Une telle observation paraît tout à fait logique car les deux lignées ont été sélectionnées depuis 20 ans pour une faible et une forte consommation alimentaire résiduelle. Toutefois, cet écart entre les

deux lignées sur la consommation alimentaire est réduit à température élevée. Cette diminution de la consommation alimentaire, apport calcique inclus ou exclu à été d'environ 25 %, mais la lignée R⁺ dans ce mode d'alimentation a été davantage affectée.

De même pour les consommations résiduelles, la différence entre lignées a été conservée mais la chaleur a réduit simultanément la surconsommation d'environ 45 % en R⁺ et la sous consommation des R⁻ de 31 %. Ce résultat constitue un nouvel élément dans la sélection des lignées aviaires R⁻ et R⁺. Cette observation est contraire au travail de Bordas et Minvielle (1997) qui avec un aliment complet avait trouvé que la réduction de la différence de R entre lignées était uniquement due à la réduction de celui-ci dans la lignée R⁺. Récemment, en alimentation calcique séparée à température normale, Banga-Mboko et collaborateurs (2001) ont également rapporté une diminution de R avec pour conséquence une production d'œufs plus importante en R⁻. Dans la présente expérience, la lignée R⁻ a produit moins d'œufs cassés que les poules de la lignée R⁺ (14,5 % contre 20,9 %). C'est peut-être en partie pour cette raison que la lignée R⁻ dans cette expérience a ramené sa ponte dans les mêmes proportions que la lignée R⁺ (-19 % et R⁻ contre -20,3 % en R⁺) contrairement à ce qui avait été trouvé précédemment avec une réduction de 22% en R⁻ contre 10 % en R⁺.

La consommation du contenant calcique a été réduite dans les mêmes proportions par la chaleur dans les 2 lignées. En se basant sur les travaux de Summers et collaborateurs (1976) et Keshavarz (1986), on peut penser que cette réduction de la consommation du complément calcique était due au taux d'incorporation du calcium dans l'aliment de base. En effet, il a été prouvé qu'en alimentation calcique séparée, les poules avaient tendance à consommer plus de contenant calcique quand le pourcentage de calcium dans l'aliment de base était faible (Harms et Waldroup, 1971; Taher *et al.*, 1984). C'est ainsi que la plupart des travaux sur l'alimentation calcique séparée ont souvent incorporé le calcium à raison de 0,8 à 1 % dans l'aliment de base (Mongin et Sauveur, 1974; Cabrera *et al.*, 1982; Picard *et al.*, 1986; Uzu, 1989) contre 1,5 % dans

notre expérimentation. Ainsi pour la lignée R⁺ qui naturellement consomme beaucoup d'aliment, nous avons certainement sous-estimé sa consommation.

L'accroissement des barbillons observé dans la lignée R⁻ s'inscrit dans l'optique d'augmenter les déperditions caloriques. Toutefois, la thermogénèse induite par le régime alimentaire a toujours été plus élevée chez la lignée R⁺ sans déposer du gras sur le tissu adipeux (Gabarou *et al.*, 1997).

CONCLUSION

Les lignées R⁻ et R⁺ ont été sélectionnées sur la base de la consommation résiduelle pour améliorer le rendement alimentaire des poules en climat tempéré. Dans la présente étude, elles ont été testées dans une ambiance chaude, en présence d'une alimentation calcique séparée. On a retrouvé sur l'ensemble des deux lignées des effets déjà connus de la température élevée comparée à une température modérée. De même, sur l'ensemble du traitement, on a observé des différences déjà connues entre les deux lignées. Cependant la plupart des différences entre les deux lignées étaient dues aux interactions entre la lignée et la température. L'utilisation simultanée de la consommation résiduelle comme moyen d'adaptation à la chaleur constitue une originalité dans la sélection des deux lignées aviaires. Toutefois, leur thermotolérance a été modulée par l'utilisation du calcium alimentaire. C'est ainsi que, à l'inverse des études précédentes, la lignée R⁻ a ramené sa production d'œufs au même niveau que la lignée R⁺. En plus de cela, les paramètres tels que le pourcentage d'œufs cassés, la qualité de la coquille, le calibre des œufs, la solidité de la coquille et l'efficacité alimentaire ont été en faveur de la lignée R⁻.

Partant de ces considérations, la combinaison de la lignée R⁻ avec certains gènes majeurs (cou nu et nanisme) connus pour leurs effets bénéfiques (Mérat *et al.*, 1974; Picker, 1987; Khan *et al.*, 1987) mériterait d'être évaluée pour renforcer ses capacités d'adaptation à la chaleur, dans la perspective d'une aviculture fermière en zone tropicale.

REMERCIEMENTS

Le premier auteur exprime sa gratitude envers le laboratoire de Génétique Factorielle de l'INRA qui a soutenu financièrement et matériellement l'étude, et Madame Raja Fares pour la mise en forme du manuscrit. Les auteurs remercient également David Gourichon et Anne Françoise Ameline pour leur collaboration technique.

Effect of heat and separated calcium feeding on laying hens selected for a residual feeding consumption

SUMMARY

This paper states the responses at heat and separated calcium feeding of two laying hens selected for the residual feed consumption. For ten variables, interactions lines x treatment revealed meaningful effects, especially for egg weight average, the percentage of broken eggs, the number of duplicate the broken eggs weight, the percentage of the shell, the albumen weight, the yellow weight, the consumption of feed without calcic source, the voluntary consumption with a calcium source. For all these interactions; the under consumer line (R⁻) gave the best answer to the treatment with egg production in the same level with R⁺ line, as a less percentage of broken eggs (14,5 % versus 20,9 %), the mean egg weight (48,6 g versus 46,2g), better egg and shells qualities, finally a better food efficiency. The best performance of R⁻ line is due to the specific calcium appetite, the reduction of the residual consumption (around 30 %). The observed reduction of the residual consumption of R⁻ birds in high temperature constitutes an original characteristic in the selection of the two lines. The study suggested that the adaptation to the heat of the R⁻ line might be improved by combining dwarf and naked genes known for their benefit effects, further in a small farming system in tropical area.

BIBLIOGRAPHIE

- BANGA-MBOKO H. Etude des effets du mode d'apport du calcium alimentaire en relation avec la température sur les performances des lignées de poules pondeuses sélectionnées pour une faible et forte consommation alimentaire résiduelle (mémoire, diplôme d'études spécialisées en sciences vétérinaires tropicales) Université de Liège, Liège, 1998, 58 p.
- BANGA-MBOKO H., BORDAS A., MINVIELLE F., LEROY P.L. Effects of separate calcium feeding on laying hens selected for low (R-) or high (R+) residual feed consumption. *Anim. Res.*, 2001, **50**, 239-250.
- BOONE M.A., HUGHES B. Effect of heat stress on laying and non-laying hens. *Poult. Sci.*, 1971, **50**, 473-477.
- BORDAS A., MERAT P. Correlated responses in a selection experiment on residual feed intake of adult Rhode Island Red cocks and hens. *Ann. Agric. Fenniae*, 1984, **23**, 233-237.
- BORDAS A., TIXIER-BOICHARD M., MERAT P. Direct and correlated responses to divergent selection for residual food intake in Rhodes-Island red laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 1992, **33**, 741-754.
- BORDAS A., MINVIELLE F. Réponse à la chaleur de poules pondeuses de lignées sélectionnées pour une faible (R-) ou forte (R+) consommation alimentaire résiduelle. *Genet. Sél. Evol.*, 1997, **29**, 279-290.
- BYERLY T.C.J., KESSLER W., GOUS M., THOMAS O.P. Feed requirement for egg production. *Poult. Sci.*, 1980, **59**, 2500-2507.
- CABRERA M.C. Alimentation calcique: effets d'une alimentation calcique séparée combinée ou non à un rationnement alimentaire sur l'énergie métabolisable du régime et la rétention d'azote, calcium et phosphore chez la poule (mémoire, diplôme d'études approfondies en nutrition). Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 1981, 80p.
- CABRERA M.C., SAUVEUR B., MONGIN P. Effect of separate calcium feeding and a limited feeding program on the metabolizable energy of the diet and on nitrogen, calcium and phosphorus retention in laying hens. *Reprod. Nutr. Dév.*, 1982, **22**, 973-987.
- GOWE R.S., FAIRFULL R.W. Breeding for resistance to heat stress. In: Dagher N.J. (Eds.), Poultry production in hot climate. CAB International: Wallingford, 1995, 11-29.
- GABAROU J.F., GERAET P.A., PICARD M., BORDAS A. Diet-induced thermogenesis in cockerels is modulated by genetic selection for high or low residual feed intake. *J.Nutr.*, 1997, **127**, 2371-2376.
- HARMS R.M., WALDROUP P.W. The effect of high dietary calcium on the performance of laying hens. *Poult. Sci.*, 1971, **50**, 967-969.
- KHAN A.G., TIWARI R.N., BAGHEL K.K., GUPTA R.D. Influence of the dwarfing gene dw on egg production and viability under summer heat stress. *Br. Poult. Sci.*, 1987, **28**, 541-546.
- KESHAVARZ K. The effect of variation of calcium intake on production performance and shell quality. *Poult. Sci.*, 1986, **65**, 2120-2125.
- LABROUE F., MAIGNEL L., SELLIER P., NOBLET J. Residual Food consumption in growing pigs fed ad libitum. In : Institut Technique du porc (Ed.), Journées de Recherches Porcines en France, Paris, 1999, **31**, 167-174.
- MERAT P., BORDAS A., LEFEVRE J. Effets associés aux gènes dw (nanisme) et Na (cou nu) chez la poule sur la production d'œufs et la consommation alimentaire à deux températures. *Ann.Génét.Sélect.Anim.*, 1974, **6**, 333-343.
- MONGIN P., SAUVEUR B. Voluntary food and calcium intake by the laying hen. *Br.Poult.Sci.*, 1974, **15**, 349-359.
- MONGIN P., SAUVEUR B. Données et applications nouvelles concernant la solidité de la coquille de l'œuf; Alimentation calcique séparée. *Courrier Avicole* n°533, Paris, 1975, 6-9.
- NJOYA J. Effect of diet and natural variations in climates on the performance of laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 1995, **36**, 537-540.
- PICARD M., ANTOINE H., SAUVEUR B. Influence de l'alimentation calcique séparée sur l'ingéré énergétique de la poule pondeuse soumise à un stress thermique. In: Conférence Européenne d'Aviculture, INRA (Ed.), 1986, Paris, 406-411.
- PICKER I. Influence du gène cou nu (Na) sur les consommations alimentaires en fonction de la formation de l'œuf et sur les performances de ponte de poules naines (dw), en contexte d'alimentation calcique séparée. (mémoire, diplôme d'études approfondies en génétique des populations et évolution), Université de Paris VII, Paris, 1987, 96p.
- SCHULMAN N., TUISKULA-HAAVISTO M., SITTONEN L., MANTYSAARI E.A. Genetic variation of residual feed consumption in a selected finish egg-layer population. *Poult. Sci.*, 1994, **73**, 1479-1484.
- SUMMERS J.D., GRANDHI R., LEESON S. Calcium and phosphorus requirements of the laying hens. *Poult. Sci.*, 1976, **55**, 402-413.
- TAHER A.I., GLEAVES E.W., BECK M. Special calcium appetite in laying hens. *Poult. Sci.*, 1984, **63**, 2261-2267.
- TANOR M.A., LEESON S., SUMMERS J.D. Effect of heat stress and diet composition on performance of White Leghorn hens. *Poult.Sci.*, 1984, **63**, 304-310.
- TIXIER-BOICHARD M., BORDAS A., RENAND G., BIDANEL J.P. Residual food consumption as a tool to unravel genetic components of food intake. In : INRA and CIRAD (Eds.), 7th World congress on genetics applied to livestock production, August, 19-23, 2002, Montpellier (France), INRA Paris, communication N°10-06.
- UZU G. L'alimentation de la poule pondeuse en climat chaud: deux voies d'amélioration. *L'aviculture*, France, N° 504, 1989, 40-48.
- ZOLTY A., HALAJKANN M. Les élevages soumis aux fortes chaleurs. In : 1^{ères} journées de la recherche avicole (Angers). *Afrique Agriculture*, N° 226, Mai 1995