



Laboratoire de Physiologie
Animale Appliquée – LPAA –



Université Abdelhamid Ibn Badis
de Mostaganem

THÈSE

CARACTERISATION PHENOTYPIQUE DE LA POULE LOCALE (GALLUS GALLUS) DANS LE NORD-OUEST ALGERIEN. GENES MAJEURS ET THERMOTOLERANCE.

Présentée à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

Par

DAHLOUM Lahouari

Pour l'obtention du

DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option : **Productions animales**

Soutenue publiquement devant le jury d'examen composé de : 09/03/2017

MOUATS Aziz	Pr	Université de Mostaganem	Président
HALBOUCHE Miloud	Pr	Université de Mostaganem	Directeur de thèse
MOULA Nassim	Dr	Faculté de Médecine Vétérinaire Université de Liège, Belgique	Co-directeur de thèse
DILMI BOURAS Abdelkader	Pr	Université de Chlef	Examineur
BEKADA Ahmed MOHAMED ALI	Pr	Centre universitaire de Tissemsilt	Examineur
HOMRANI Abdelkader	MCA	Université de Mostaganem	Examineur

**La façon dont on évolue en atteignant nos objectifs
importe d'avantage que le résultat»**

Victor Hugo (1802-1885)

REMERCIEMENTS

La présente étude n'aurait pas été possible sans le bienveillant soutien de certaines personnes. Et je ne suis pas non plus capable de dire dans les mots qui conviennent, le rôle qu'elles ont pu jouer à mes côtés pour en arriver là. Cependant, je voudrais les prier d'accueillir ici tous mes sentiments de gratitude qui viennent du fond de mon cœur, en acceptant mes remerciements.

AZIZ MOUATS

Professeur à l'université de Mostaganem qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de thèse. Pour l'intérêt et le soutien chaleureux dont il a toujours fait preuve. Hommage respectueux.

MILOUD HALBOUCHE: Mon directeur de thèse

Professeur à l'université de Mostaganem pour sa présence, sa disponibilité, son soutien et son encadrement. Pour m'avoir laissé une grande liberté pour mener à bien ce travail de recherche. Mes très sincères remerciements aussi pour m'avoir épaulée tout au long de ce travail, avec souplesse, simplicité et beaucoup de gentillesse.

NASSIM MOULA : Mon co-directeur de thèse

Docteur en sciences vétérinaires au département des productions animales de l'université de Liège, Belgique. Pour sa disponibilité permanente lorsqu'il s'agissait d'apporter les corrections et les suggestions qui ont permis d'améliorer la lisibilité et la compréhension de mes manuscrits. Pour toutes ses qualités humaines, souplesse, simplicité, ouverture d'esprit et en particulier pour son amitié et son soutien moral quand j'étais dans le besoin ainsi que les mots bienveillants à mon endroit. Merci aussi pour toutes les lettres d'invitation qui n'ont malheureusement pas abouti à effectuer des stages scientifiques en Belgique. Sincèrement, sans lui, je n'aurai jamais pu réaliser ce travail. Encore, un grand Merci Nassim.

SANDRINE MIGNON-GRASTEAU

Chercheur à la Station de Recherches Avicoles, INRA-Nouzilly, France, pour m'avoir accueillie chaleureusement à son unité de recherches et mettre à ma disposition tout le nécessaire pour le bon déroulement de mon stage en France. Mon séjour était court mais riche d'enseignements. Je lui suis reconnaissant aussi de la patience et de la grande disponibilité dont elle a fait preuve pour discuter certains aspects du sujet, en statistiques

notamment. Sincèrement, cette thèse n'aurait pu exister sans son aide précieuse. Malgré ses nombreuses tâches, elle a toujours su trouver du temps pour lire et corriger mon article. Je suis très fier et honoré de travailler à tes côtés. Un immense merci Sandrine.

DILMI BOURAS : Professeur à l'université de Chlef, d'avoir accepté de faire partie de mon comité de thèse.

BEKADA AHMED Mohamed Ali : Professeur à l'université de Tissemsilet, d'avoir accepté de faire partie de mon comité de thèse.

HOMRANI ABDELKADER : Maître de conférences à l'université de Mostaganem d'avoir accepté de faire partie de mon comité de thèse.

CHIBANI ABDELWAHAB : Professeur à l'université de Mostaganem pour sa relecture enrichissante de mon article et ses suggestions avisées.

TOUT LE PERSONNEL DU MOSTAVI et en particulier BELGOUNIDI AMEL pour leur accueil chaleureux et leur aide lors des premiers essais en couvoirs et pour leur disponibilité.

FATMA YUCEFI, MOHAMED EL-AFFIFI, NOUREDDINE AZZI, ET AMAR, TEFIANI CHOUKRI ET BENYOUB NOUREDDINE, TAYBI, OUZAR MOHAMED, NADIR ET NOUREDDINE : Mes très chers collègues à l'université de Tlemcen. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements et ma profonde gratitude pour la bonne relation de solidarité et d'entente mutuelle entre nous depuis 2010. Encore Merci pour avoir consolidé mon moral lors de la réalisation de cette thèse.

AMMI NOUREDDINE, BELAHOUAL, KARIM et H'BIB, les employés au niveau de la ferme expérimentale de Hassi Mamèche. Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans leurs aides pendant les périodes d'élevage des animaux. Merci infiniment pour tous les moments agréables que nous avons passé ensemble.

LES FAMILLES RURALES : qui ont contribué à l'aboutissement de cette étude, pour leur accueil chaleureux et surtout d'être patients pendant la réalisation des mensurations.



DEDICACES

- **A LA MEMOIRE DE MES PARENTS**

« *Qu'ALLAH les accueille en son vaste paradis* »

- **A MA MERVEILLEUSE EPOUSE**

♣ KHADIDJA ♣

Qui me soutient tout le temps par la force et l'énergie qui lui sont disponibles. Je te remercie
infiniment.

MES FRERES ET SŒURS,

FARIDA, BADIS, TEWFIK, NADJET, ASSIA, AMINA, FOUZIA, MOHAMED ET HICHAM

MABROUK DIDI

« Qu'Allah l'accueille en son vaste paradis ». Merci pour tous les moments agréables que nous avons passé ensemble. Ton souvenir sera éternellement présent dans mon esprits.

LA FAMILLE BENGUETTAT

AMMI MOHAMED, MIMA DJAMILA, YACINE ET HOUCINE

LA FAMILLE KARA et LA FAMILLE SAAD- EL- HACHEMI AMAR

MOURAD, FOUAD, EL HADJ TAHAR, ET MIMA CHERIFA

MES AMIS DE LONGUE DATE

OMAR, KARIM, HAKIM, HABIB, SLIMANE, KADDOUR, ABED, KATEB, BENDJILALI, BENCHOUCHA, NABIL, RACHID et HOUCINE, Qui, avec cette question récurrente, « *quand est-ce que tu la soutiens cette thèse ?* », bien qu'un peu angoissante en période fréquente de doutes, m'ont permis de ne jamais dévier de mon objectif final. Encore une fois merci pour votre soutien et votre amitié sans faille depuis plusieurs années.

TOUTES LES PERSONNES

Que j'aurais oublié de citer ici et qui normalement méritent un grand merci

Mes remerciements vont également à mon pays

L'ALGERIE

qui m'a permis de terminer cette formation, en me fournissant les ressources nécessaires disponibles.

RÉSUMÉ

Cette étude consiste dans un premier temps à la caractérisation phénotypique des poulets locaux dans trois régions (Mostaganem, Mascara et Relizane) du Nord-Ouest algérien et établir des modèles pour la prédiction du poids vif (PV) du poulet à partir de certaines mensurations corporelles. Suite à ce travail d'inventaire, nous avons observé une grande variabilité phénotypique chez le poulet local. Pour la crête, le rouge foncé est la couleur dominante (77,8 %) suivie par le rouge clair, indiquant probablement une bonne fertilité chez les animaux de la zone d'étude. Les tarses blancs (40,9 %) et gris (31 %) sont plus fréquents que les tarses jaunes (15,4 %), noirs (8,05 %) ou verts (4,51 %). La couleur orange des yeux représente 81,7 % de l'effectif total tandis que le jaune et le marron montrent des fréquences beaucoup plus faibles (10,4 % et 7,9 %, respectivement). Des variations sont également observées pour la couleur des oreillons. Ceux-ci sont le plus fréquemment de couleur blanche (73,9 %).

Les proportions des animaux porteurs des mutations, Cou nu (Na), Frisé (F), Ptilopodie (Pti), tête hupée (Cr), crête en rose (R) et crête en pois (P) sont respectivement 8,82 % ; 0,45 % ; 1,22 % ; 5,54 % ; 3,35 % et 4,7 %, soit des fréquences géniques respectivement égales à 0,045 ; 0,002 ; 0,006 ; 0,03 ; 0,017 et 0,024.

Nous avons observé un dimorphisme sexuel très net ($P < 0,001$) en faveur des mâles non seulement pour le PV mais également pour l'ensemble des mensurations corporelles. Les corrélations phénotypiques entre les paramètres morpho-pondéraux sont généralement voisines chez les deux sexes (entre -0,13 et 0,88 chez les mâles et entre -0,15 et 0,97 chez les femelles). L'Analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée sur les matrices des corrélations des parties corporelles a permis, par ailleurs, de retenir trois composantes principales. Ces dernières expriment ensemble 71,6 % et 73,2 % de la variance totale, chez les mâles et les femelles, respectivement.

Chez les mâles, la longueur de la patte explique toute seule 78,1 % de la variation du PV tandis que chez les femelles, la largeur du bréchet explique 97,2 % de la variation de celui-ci. La précision des modèle de prédiction est nettement améliorée lorsqu'on considère les composantes principales ($R^2 = 0,84$ pour les mâles et $R^2 = 0,94$ pour les femelles).

Dans une deuxième étape, nous avons mis en place un programme de sélection génétique pour produire une souche de poulet thermotolérant portant les caractères Cou nu et Frisé. Une fois

adultes, les animaux issus de ce programme ont été pesés et leurs caractères morphologiques mesurés, leurs œufs ont été également récoltés pour étudier leur qualité en termes de poids, de conformation et de composition interne. Ces animaux sont comparés à leurs homologues ne portant pas ces deux caractères.

Les œufs de poules NaF manifestent leur supériorité pour le poids total (+6,4 g, $P<0,05$), le poids du vitellus (+3,0 g, $P<0,01$) et le ratio Vitellus : Albumen (+3%, $P<0,01$) par rapport aux poules à plumage normal. De plus, les œufs de poules NaF contiennent significativement ($P<0,01$) plus de lipides. Les résultats obtenus sont encourageants dans la mesure où ils démontrent l'avantage des gènes Na et F en combinaison sur la qualité des œufs. Ces résultats suggèrent, dans l'optique éventuelle de l'utilisation de pondeuses Cou-nu-Frisées en climat chaud de mener des recherches ultérieures.

Dans la dernière partie de cette étude, nous avons étudié la possibilité de sélectionner des génotypes adaptées à la chaleur par Thermographie Infrarouge (TIR) par l'estimation des températures de surface des zones non emplumées (crête, patte et œil) chez deux souches de pondeuses soumises à deux traitements thermiques différents : Neutralité thermique (Contrôle) et Stress thermique (Stress). Les résultats montrent que les températures des zones nues augmentent chez les animaux stressés. Cette augmentation est plus prononcée pour la crête (+32,9 %) et la patte (+21%) par rapport à celle de l'œil (+7,9 %). Le groupe « Contrôle » se situe des côtés négatifs du plan F1-F2 de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et correspond aux animaux ayant dans l'ensemble des températures de surfaces inférieures à 43°C. Par contre, le groupe « Stress » se situe des côtés positifs et correspond quant à lui aux animaux caractérisés par des températures des surfaces nues généralement supérieures à 36°C. En outre, nous avons observé dans le plan factoriel une opposition entre les deux souches sans toutefois mettre en évidence une différence significative entre elles, leurs projections étant proches de l'origine des axes.

Mots clés : poule locale, caractérisation phénotypique, gènes majeurs, thermotolérance, thermographie infrarouge.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة يتمثل أساسا في التطرق إلى وصف الأنماط الظاهرية الخاصة بالدجاج المحلي، إضافة إلى إيجاد معادلات أو نماذج رياضية تساعد على تنبؤ وزن الحيوان حيا من خلال استعمال بعض القياسات الجسمية. تمت هذه الدراسة على مستوى عدد من المناطق الريفية التابعة لثلاث ولايات تقع في الشمال الغربي الجزائري (مستغانم، معسكر و غليزان). على ضوء نتائج الدراسة الميدانية، لاحظنا تنوعا نمطيا ظاهريا مهما يميز الدجاج المحلي. فيما يخصَّ عُرْف الدجاج (قمة الرأس)، فقد كان اللون الأحمر الداكن سائدا بنسبة 77.8 % متبوعا اللون الأحمر الفاتح، وقد تشير هذه النتائج الى احتمال وجود خصوبة تكاثرية جيدة عند هذه الدواجن. فيما يخصَّ لون الساق، فنسب اللون الأبيض (41 %) أو الرمادي (31%) كانت أكبر من نسب اللون الأصفر (15.4%)، الأسود (8.05%) والأخضر (4.5%). أما لون العين، فهو عادة برتقالي (81.7%)، في حين لاحظنا نسا أقل فيما يتعلق باللونين الأصفر والبني (10.4%) و 7.9% (على التوالي). بخصوص فصَّ الأذن، فعادة ما يكون ذا لون أبيض (73.9%).

أظهرت الدراسة الميدانية من جهة أخرى، وجود نسب ضعيفة عموما فيما يتعلق ببعض الطفرات الوراثية الظاهرية مثل العنق الخالي من الريش، الريش المجعد، الريش على مستوى الساق، الريش المرتفع على مستوى الرأس، العرف بشكل البازلاء والعرف بشكل الزهرة، حيث تراوحت هذه النسب بين 0.45 % و 8.82%. كما أظهرت نتائج هذه الدراسة أيضا تباينا واضحا بين إناث وذكور الدجاج، فيما يتعلق بالوزن والمقاسات الجسمية، إلا أن معاملات الترابط الخطي بين مختلف المقاسات الجسمية المدروسة بدت متشابهة إلى حد كبير بين ذكور (-0.13 و +0.88) وإناث الدجاج (-0.15 و +0.97). من خلال التحليل الإحصائي باستعمال المكونات الرئيسية المطبق على مصفوفات معاملات الترابط، تمكنا من الحصول على ثلاث مكونات رئيسية تفسر إجمالا 71.6 % من التغير الكلي عند ذكور الدجاج و 73.2% عند الإناث. يظهر أيضا من خلال النتائج إمكانية تفسير 78.1% من تغير وزن الذكور إذا اعتبرنا مقياس طول الساق، في حين يمكننا مقياس عرض الصدر من تفسير 97.2% من تغير وزن الإناث. باستعمال المكونات الأساسية تمكنا من الحصول على دقة أكبر ($R^2 = 0.84$ عند الذكور و $R^2 = 0.94$ عند الإناث).

الجزء الثاني من هذه الدراسة يتعلق ببرنامج الانتقاء الوراثي المتبع بهدف إنتاج سلالة دجاج مقاوم للحرارة يحمل صفتي العنق الخالي من الريش والجسم ذو الريش المجعد. بعد الحصول على هذا النوع من الدجاج NaF، قمنا بدراسة خصائصه المورفولوجية عند سن البلوغ، إضافة إلى دراسة نوعية البيض من حيث الوزن، الشكل وبعض الخصائص الفيزيوكيميائية، ومن ثمة مقارنتها مع خصائص الدجاج غير الحامل لهذه الطفرات. عموما بينت النتائج أفضلية الدجاج NaF فيما يخصَّ الوزن الكلي للبيضة، وزن الصفار، النسبة "وزن الصفار: وزن الزلال"، إضافة إلى كمية الدسم مقارنة مع الدجاج العادي (غير الحامل للطفرتين F و Na). تبدو هذه النتائج على العموم مشجعة وتحتاج طبعا إلى أبحاث أخرى من أجل تأكيد فائدة هاتين الصفتين الوراثيتين F و Na على نوعية البيض، ومن ثمة الاستغلال الفعلي للسلالة في الظروف المناخية الحارة.

الجزء الأخير من هذا العمل يتعلق بدراسة إمكانية استعمال تقنية التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء بهدف انتقاء سلالات من الدجاج تكون أكثر تكيفا أو مقاومة للحرارة وذلك من خلال قياس درجة حرارة سطح بعض المناطق الخالية من الريش (العرف، الساق والعين). أثبتت النتائج ارتفاع درجة حرارة هذه المناطق عند الطيور الخاضعة للإجهاد أو الاضطراب الحراري مقارنة مع الطيور المتواجدة في ظروف حرارية عادية. من جانب آخر، أظهر التحليل العاملي للتطابقات (AFC) تواجد الفوج الخاضع للإجهاد الحراري على الجانبين الموجبين للمحورين F1-F2، ويشمل الطيور التي تتميز بدرجات حرارة سطح تفوق 36°م، بينما نجد مجموعة الطيور الخاضعة لظروف حرارية عادية على الجانبين السالبين للمخطط F1-F2، وتشمل هذه المجموعة الطيور ذات حرارة سطح تحت 43°م.

عموما، لم نلاحظ فرقا واضحا بين السلالتين فيما يخصَّ الحساسية تجاه الحرارة المرتفعة، إذ أن إسقاطهما أو تمثيلهما يقترب من مرجع المحورين F1 و F2.

الكلمات المفتاح: الأنماط الظاهرية، الدجاج المحلي، المورثات المؤثرة على النمط الظاهري، مقاومة الحرارة، تقنية التصوير بالأشعة تحت الحمراء

ABSTRACT

This study was conducted to characterize local chickens in the northwest of Algeria based on some phenotypic traits and to look at prediction of body weight from morphometric measurements (linear body). The results indicated that the predominant comb colour was dark red (77,8 %), followed by light red (22,2 %). Tarsus colour was either white (40,9 %), grey (31 %), yellow (15,39 %), dark (8,05 %), or green (4,51 %). Most chickens (81,7 %) had orange eyes, while 10,37 and 7,92% had yellow and dark-brown eyes, respectively. The dominant earlobe colour was white (73,96 %), followed by red (16,81 %). The remaining proportion included yellow and red-mottled yellow and black earlobes. Proportions of the adaptive genes were low. Incidences of Na, F, Pti, Cr, R, and P genes were 8,82, 0,45, 1,22, 5,54, 3,35, and 4,7 %, respectively. The calculated gene frequencies ranged from 0,002 to 0,045. Variations were also found in quantitative morphological traits. Sex-associated differences ($P<0,001$) were observed in almost all the parameters evaluated with higher values recorded for males. Phenotypic correlations of body weight and biometric traits ranged from -0,13 to 0,88 and -0,15 to 0,97 for males and females, respectively. From the factor analysis with varimax rotation of the intercorrelated traits, three principal components which accounted for 71,6 and 73,2% of the total variance were extracted in males and females, respectively. Orthogonal body shape characters derived from the factor analysis accounted for 84,3 and 94,2% of the variation in body weight of males and females, respectively. Information obtained from this study could be useful in an appropriate management, breeding programmes for selection and utilization of Algerian chicken genetic resources.

In the second step, a selection program was carried out to produce a local poultry thermotolerant strain. Two characters related to recessive genes encoding the plumage (Na and F) were used. Animals from the selection program were measured for their morphological and weight parameters and characteristics of their eggs. The results were compared with those obtained during an inventory of local poultry population. The Na, F genes in combination state caused the production of better egg weight (+6,4g, $P<0,05$), yolk weight (+3,0g; $P<0,01$) and yolk to albumen ratio (+3%; $P<0,01$) when compared to normal feathered counterpart. In addition, egg quality in term of fat highly favored NaF laying hens compared to others. Haugh unit score was not significantly influenced ($P>0,05$) by genotype. There was strong correlation ($P<0,001$) ranged from 0,77 to 0,95 between egg weight and albumen weight. The

potential interest further studies is stressed, in view of possible use of the naked neck-frizzle layers for egg production in hot climates.

In a last step, we discussed how thermography could be used to estimate the genetic ability of hens to adapt to heat, by estimating phenotypic correlations between egg quality parameters and unfeathered zones temperatures (comb, shank and eye) in two commercial lines of laying hens between 28 and 72 wk, submitted cyclically to periods at neutral NT or high HS ambient temperatures (19,6°C and 28,4°C, respectively). Results showed that under HS, temperatures of all areas increased. The increase being larger for the comb (+32,9%) and the shank (+21%) than for the eye (+7,9%). The correlation between shank and comb temperatures is moderately positive ($r= 0,56$; $P<0,05$) indicating that, even if they play the same role in heat dissipation, their genetic control is partly different. On the F1-F2 plane of the factorial analysis of correspondence (FAC), which accounted for 18,3% of the total variance, the group HS was distinguished by the positive values of the two factors, and was characterized by animals with unfeathered areas temperatures above 36°C, whereas the group NT was distinguished by the negative values of this factor and corresponds to animals with unfeathered areas temperatures below 34°C.

Keywords : indigenous chicken, phenotypic characterization, major genes, thermotolerance, infrared thermography

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1. Principaux gènes de coloration ou à effet morphologique chez la poule.....	24
Tableau 2. Les statuts de risque des races de poules dans le monde entre 2007 et 2010 (Food and Agriculture Organisation, 2007-2010).....	26
Tableau 3. Caractéristiques des quatre différents systèmes d'aviculture familiale.....	36
Tableau 4. Gènes majeurs intéressants en climat chaud (N'Dri, 2006).....	44
Tableau 5. Inventaire des phénotypes avicoles rencontrés dans les trois zones d'étude.....	73
Tableau 6. Fréquences (%) des caractères de coloris pour certaines parties du corps (crête, tarse, œil, et oreillon) chez 1552 poulets locaux dans le Nord-Ouest algérien.....	79
Tableau 7. Pourcentages (%) des animaux porteurs de certaines mutations visibles en fonction du sexe et de la région.....	80
Tableau 8. Effectifs observés et attendus et fréquences géniques pour certaines mutations visibles rencontrés chez 1552 poulets locaux dans le Nord-Ouest algérien.....	81
Tableau 9. Moyennes des moindres carrés et erreur-type du poids vif (g) et des mensurations corporelles (cm) chez 778 poulets locaux dans le Nord-Ouest algérien.....	82
Tableau 10. Mensurations corporelles (cm) chez les coqs de souche améliorée et les coqs de race locale.....	84
Tableau 11. Corrélations de Pearson (r) entre les paramètres morpho-pondéraux chez les coqs sélectionnés (au dessus de la diagonale) et les coqs locaux (au dessous de la diagonale).....	85
Tableau 12. Poids vif, poids de la carcasse et poids des organes internes (Moyennes $\pm$ écart-type, g).....	86
Tableau 13. Corrélations de Pearson (r) entre les poids vif, le poids de la carcasse et le poids des organes internes chez les coqs sélectionnés (au dessus de la diagonale) et les coqs locaux (au dessous de la diagonale).....	87
Tableau 14. Coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres morpho-pondéraux chez les mâles (au-dessous de la diagonale, n=322) et les femelles (au dessus de la diagonale, n=456). Les valeurs en italique sont significativement différentes de zéro au seuil de 5%.	88
Tableau 15. Valeurs propres, coefficients de corrélations entre les variables et les trois composantes de plus grande variance et communautés chez les mâles et les femelles.....	90
Tableau 16. Modèles de prédiction par régression linéaire multiple du poids vif sur les mensurations corporelles et les composantes principales (PC1-PCi) chez les mâles.....	93
Tableau 17. Modèles de prédiction par régression linéaire multiple du poids vif sur les mensurations corporelles et les composantes principales (PC1-PCi) chez les mâles.....	94

Tableau 18. Paramètres de poids vif et de mensurations des poules et coqs locaux, et des poules portant les caractères Na, F.....	95
Tableau 19. Corrélations entre les paramètres morpho-pondéraux mesurés chez les poules normales (au-dessous de la diagonale) et chez les poules portant Na, F (au-dessus de la diagonale).....	96
Tableau 20. Effet du génotype sur le poids de l'œuf entier, la longueur, la largeur et l'indice de forme (Moyenne±écart-type).....	97
Tableau 21. Effet du génotype sur le poids de la coquille et les caractéristiques internes de l'œuf (Moyenne±écart-type).....	101
Tableau 22. Corrélations de Pearson entre les paramètres de la qualité de l'œuf mesurés chez les poules normalement emplumées (n=45).....	102
Tableau 23. Corrélations de Pearson entre les paramètres internes et externes de l'œuf mesurés chez les poules cou nu frisé (n = 45).....	103
Tableau 24. Corrélations de Pearson entre les paramètres de la qualité de l'œuf mesurés chez les poules Lohmann Tradition (n=45).....	103
Tableau 25. Moyenne ± Ecart-type et coefficient de variation pour les températures et les surfaces des zones non emplumées par groupe de traitement.....	105
Tableau 26. Corrélations de Pearson entre les températures et les surfaces des zones non emplumées chez les l'ensemble des animaux des deux groupes. Les valeurs en gras sont significativement ($P<0,05$) différentes de zéro.....	106
Tableau 27. Caractéristiques des œufs chez les l'ensemble des animaux des deux groupes.	106
Tableau 28. Corrélations phénotypiques entre les caractéristiques de l'œuf, les températures et les surfaces des zones non emplumées chez les pondeuses maintenues en conditions standards (neutralité thermique).	107
Tableau 29. Corrélations de Pearson entre les températures des surfaces non emplumées et les caractéristiques des œufs chez les pondeuses soumises au stress thermique.	108
Tableau 30. Contributions des 2 premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et des variables ¹ principales sur chaque axe à la variation totale.....	109

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1. <i>Gallus gallus Bankiva</i>	12
Figure 2. Evolution de la diversité génétique du poulet (Weigend et Romavov, 2001).....	13
Figure 3. Quelques mutations affectant la structure, la longueur et la répartition des plumes chez la poule.....	18
Figure 4. Etat des risques des races d'animaux domestiques dans le monde, Source: Liste mondiale de surveillance pour la diversité des animaux domestiques.....	33
Figure 5. Races d'animaux domestiques menacées dans le monde, Source: Scherf (2000).....	33
Figure 6. Principaux modes de transfert de chaleur entre l'animal et l'ambiance.....	40
Figure 7. (A) Equilibre thermique : 25 inspirations/minute; (B) Augmentation de la T° : Rythme respiratoire augmenté; (C) Limite de résistance : 200 inspiration/ minute (D). Mortalité par hyperthermie (Valancony 1997).....	42
Figure 8. Spectre électromagnétique en fonction de la longueur d'onde du rayonnement.....	52
Figure 9. Caméra infrarouge de type Fluke.....	52
Figure 10. Evaluation d'une tarsite : La zone enflammée est parfaitement visible.	52
Figure 11. Thermogramme sous un radiant dans un bâtiment de poulets standards au démarrage (Clinique aviaire et porcine, ENVIT).....	54
Figure 12. Données climatiques des régions étudiées : Mostaganem (ligne en pointillé), Mascara (ligne discontinue) et Relizane (ligne continue). Source : website fr.climate-data.org.....	56
Figure 13. Poulets expérimentaux hétérozygotes pour les caractères Cou nu ou frisé...	59
Figure 14. Poule expérimentale hétérozygote Cou nu-Frisée âgée de 8 mois.....	59
Figure 15. Diagramme général du programme de sélection pour la création de souches homozygotes résistantes à la chaleur chez la volaille locale (Halbouche et al, 2012)..	61
Figure 16. Parquets génétiques (bleu : <i>Conditions</i> standards; rouge : <i>Conditions de stress thermique</i>	64
Figure 17. Caméra infrarouge utilisée pour mesurer la température de surface chez les poules	67
Figure 18. Instron, appareil de mesure de la charge de rupture et de la rigidité statique	67
Figure 19. Poulets locaux en divagation.....	71
Figure 20. Exemples de caractères de coloration de plumage chez la poule locale.	74
Figure 21. Exemples de phénotypes rencontrés.....	75
Figure 22. Facteurs de répartition spacio-écologiques des phénotypes avicoles locaux.....	76
Figure 23. Exemples d'images thermiques prises sur les poules (a : corps entier ; b : pattes ; c : crête).....	104
Figure 24. Histogramme de fréquences de la température de l'œil chez les deux groupes (NT et SAT) de pondeuses.....	105
Figure 25. Représentation des températures des zones non emplumées et les caractéristiques des œufs dans le plan F1-F2.....	110

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	5
-----------------------------------	----------

PREMIERE PARTIE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1. GENETIQUE DE L'ESPECE POULE (<i>Gallus gallus</i>).....	10
1.1. Origine et domestication.....	10
1.1.1. Les espèces sauvages.....	10
1.1.2. La domestication.....	11
1.2. Principaux gènes affectant la structure et la répartition des plumes.....	13
1.2.1. La structure des plumes.....	13
1.2.1.1. Le plumage frisé.....	13
1.2.1.2. Le plumage soyeux.....	14
1.2.1.3. Le plumage de poule chez le coq.....	14
1.2.1.4. Vitesse d'emplumement.....	15
1.2.1.5. La huppe.....	15
1.2.1.6. La barbe et les favoris.....	15
1.2.1.7. Queue très longue.....	16
1.2.2. La répartition des plumes.....	16
1.2.2.1. Nu	16
1.2.2.2. Nu sans écailles aux pattes.....	16
1.2.2.3. Cou nu.....	16
1.2.2.4. Tarses emplumés.....	19
1.2.3. Gènes affectant la crête.....	19
1.2.3.1. La crête en rose ou « rosacée ».....	19
1.2.3.2. La crête en pois.....	20
1.2.3.3. La crête en noix.....	20
1.2.4. Gènes affectant la taille.....	20
1.2.4.1. Le nanisme lié au sexe.....	20
1.2.5. Gènes affectant la coloration de la peau et ses annexes.....	21
1.2.5.1. Coloration des pattes.....	21
1.2.5.2. La présence de mélanine dans la peau.....	21
1.2.5.3. Coloration des oreillons.....	22
1.2.5.4. Pigmentation de l'œil.....	22
1.2.6. Principaux gènes de la coloration du plumage.....	23

CHAPITRE 2. GENERALITES SUR LES RESSOURCES GENETIQUES ANIMALES.....

2.1. La conservation de la biodiversité	25
2.1.1. La conservation <i>in situ</i>	26
2.1.2. La conservation <i>ex situ</i>	27
2.1.3. Quelle conservation est-elle appropriée pour les RG existantes ?	27
2.2. La gestion de la variabilité génétique.....	28
2.3. La notion de race.....	28
2.3.1. La caractérisation des races.....	29
2.3.1.1. Inventaire	30
2.3.1.2. Caractérisation phénotypique.....	30
2.3.1.3. Caractérisation moléculaire.....	31
2.4. État des ressources génétiques animales	32
2.4.1. Perte des ressources génétiques animales et facteurs de risque.....	33
2.5. Aviculture familiale.....	34

CHAPITRE 3. EFFETS DE LA CHALEUR SUR LES PERFORMANCES DU POULET.....

3.1. Stress thermique et mécanismes de thermorégulation chez le poulet	38
3.1.1. Le stress thermique.....	38
3.1.2. La thermorégulation chez le poulet.....	38
3.2. Les effets de la chaleur	40
3.3. Stratégies pour réduire les effets négatifs de la chaleur	42
3.3.1. Acclimatation et conditionnement thermique.....	43
3.1.1.1. Acclimatation postnatale à la chaleur.....	43
3.1.1.2. Acclimatation périnatale à la chaleur.....	43
3.1.1.3. Gènes majeurs d'adaptation à la chaleur	43
3.4. La thermographie infrarouge TIR.....	45
3.4.1. Définition et origine	45
3.4.2. Principe général de la TIR.....	45
3.4.2.1. Le spectre infrarouge.....	46
3.4.3. Applications de la TIR.....	47
3.4.4. Applications de la TIR dans le secteur avicole	49

SECONDE PARTIE ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1. DISPOSITIFS, MATERIEL, ANALYSES ET METHODES.....

1.1. INVENTAIRE DES PHENOTYPES DE POULES LOCALES.....	55
1.1.1. Présentation des zones d'étude.....	
1.1.2. Animaux et conditions d'élevage.....	56
1.1.3. Méthodes de collecte des données.....	57
1.2. PROGRAMME DE SELECTION.....	58
1.3. EVALUATION DE LA QUALITE DES ŒUFS	62

1.3.1. Animaux, conditions expérimentales et paramètres enregistrés.....	
1.4. CONTRIBUTION A LA SELECTION DE PONDEUSES POUR L'ADAPTATION A LA CHALEUR PAR LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE.....	63
1.4.1. Approche expérimentale.....	
1.4.2. Prise des photos thermiques et analyse d'images.....	64
1.4.2.1. Calibration de l'appareil.....	
1.4.2.2. Prise de photos.....	65
1.4.2.3. Déchargement des images sur ordinateur.....	65
1.4.2.4. Traitement informatique des images.....	65
1.4.3. Evaluation de la qualité interne et externe des œufs.....	67
1.5. CALCULS, ANALYSES STATISTIQUES ET TRAITEMENT DES DONNÉES.....	67
CHAPITRE 2. RESULTATS ET DISCUSSION	70
2.1. CARACTÉRISATION PHÉNOTYPIQUE DE LA POULE LOCALE (<i>GALLUS GALLUS</i>) DANS LE NORD-OUEST ALGÉRIEN.....	
2.1.1. Alimentation et habitat.....	
2.1.2. Conduite sanitaire et prophylactique.....	
2.1.3. Inventaire des phénotypes.....	71
2.1.4. Fréquences phénotypiques des caractères de coloris et de certaines mutations visibles.....	77
2.1.5. Fréquences alléliques des gènes majeurs.....	80
2.1.6. Effet du sexe et de la région sur les paramètres quantitatifs mesurables	81
2.1.7. Comparaison avec la souche commerciale.....	84
2.1.7.1. Paramètres morpho-métriques	
2.1.7.2. Poids vif, poids de la carcasse et poids des organes internes.....	85
2.1.8. Estimation des corrélations phénotypiques entre les paramètres morpho-pondéraux.....	87
2.1.9. Analyse en composantes principales	88
2.1.10. Estimation du poids vif en fonction des mensurations des parties corporelles.....	90
2.2. EFFET DES GÈNES MAJEURS « Na » ET « F » SUR LES CARACTERISTIQUES CORPORELLES, LA CONFORMATION ET LA COMPOSITION DES ŒUFS.....	95
2.2.1. Caractérisation morphologique des poules « Cou nu : Frisées ». Comparaison avec les poules normalement emplumées	95
2.2.2. Evaluation de la qualité des œufs	96
2.2.2.1. Poids entier et conformation externe de l'œuf.....	96
2.2.2.2. Caractéristiques des composants de l'œuf.....	98
a- Poids et proportion de la coquille.	98
b- Qualité de l'albumen.	98

c- <i>Qualité du jaune</i>	99
d- <i>Ratio V:A.</i>	
e- <i>La fraîcheur des œufs</i>	100
f- <i>Teneurs en protéines et en lipides.</i>	
2.2.3. Corrélations phénotypiques entre les paramètres de l'œuf	101
2.3. POSSIBILITÉ DE SÉLECTION DE PONSEUSES POUR L'ADAPTATION À LA CHALEUR PAR LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE.....	104
2.3.1. Températures et surfaces des zones non emplumées chez les pondeuses	104
2.3.2. Corrélations entre les températures des surfaces non emplumées et les caractéristiques de l'œuf.....	106
2.3.3. Analyse factorielle des correspondances (AFC).....	108
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMADATIONS	111
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	114
ANNEXES	

INTRODUCTION GENERALE

La poule, ce petit volatile caquetant, a accompagné l'Homme, depuis plus de 8000 ans, dans ses transhumances, son nomadisme, son aventure pour la subsistance et son mode de vie. Cette relation étroite entre l'Homme et le volatile n'est pas un hasard ; elle a été tissée grâce aux avantages extraordinaires et spécifiques de ces petits animaux, comparés à leurs congénères domestiques plus massifs. La poule a joué un rôle décisif dans la sécurité alimentaire de l'Homme, particulièrement dans les zones hostiles et sous les climats difficiles de l'ère préhistorique (Halbouche 2013). Le poulet est la première espèce où un gène majeur (nanisme lié au sexe) a été utilisé en pratique et à grande échelle. Le poulet et la caille sont aussi utilisés comme espèces modèles en génétique quantitative et en biologie (Tixier-Boichard 1992).

On assiste aujourd'hui, à une forte concentration des entreprises de sélection avicole, qui entraîne non seulement une réduction du nombre de souches disponibles et une standardisation de plus en plus poussée des conditions d'élevage en sélection (N'dri 2006) mais également intensifie les rapports de dépendances.

Les progrès réalisés suite au développement d'une aviculture industrielle à vocation internationale rendent théoriquement possible la distribution de l'ensemble des œufs et des poussins d'un jour à travers le monde à partir d'un seul sélectionneur situé à un seul endroit du globe. Mais concomitamment, ce développement s'accompagne d'une diversification des milieux dans lesquels sont élevés ces mêmes animaux. Le noyau de sélection est généralement élevé en climat tempéré, alors que les descendants commerciaux sont de plus en plus souvent élevés dans des pays aux climats très différents (Mathur et Horst 1994), par exemple entre climat tropical et tempéré (Wilson cité par N'Dri 2006).

La production mondiale de viande de volaille a progressé régulièrement au cours de ces dernières années malgré l'augmentation du coût des matières premières. Cette progression concerne plus particulièrement l'Asie de l'Est et le Brésil, ce dernier étant le premier pays exportateur sur le marché mondial de la volaille en 2010 (d'après l'Institut Technique de l'Aviculture : ITAVI). Selon les estimations de la FAO, la filière avicole a fourni en 2012, dans le monde, 103 millions de tonnes de viande et 66,4 millions de tonnes d'œufs de consommation. La demande mondiale de viande de volaille demeure en forte croissance, ce

qui explique un marché mondial très dynamique (Brelaz 2011). D'ici 2050, la demande alimentaire augmentera de 70 % pour nourrir la population mondiale (FAO 2009).

En Algérie, la filière avicole a atteint un stade de développement qui lui confère désormais une place de choix dans l'économie nationale en général et dans l'économie agricole, en particulier (Said 2015). En 2007, elle réalise un chiffre d'affaires de 100 milliards de Dinars (1,400 milliards de dollars) et une valeur ajoutée brute de 300 millions de dollars, ce qui représente une partie importante de la richesse agricole nationale, assurant en retour des revenus à de larges couches de la population (Kaci 2013). Selon les professionnels de la filière, ce secteur emploie environ 350 000 personnes. Sur le plan organisationnel, le processus de remontée de la filière avicole ne s'est réalisé que partiellement et est resté bloqué, au stade des reproducteurs "Chair" et "Ponte" (Kaci 2013). En effet, les métiers de base (multiplication des grands parentaux et des arrières grands parentaux ainsi que l'industrie des équipements avicoles) n'existent pas encore en Algérie (Belaid 2015).

Il se trouve que depuis quelques années la donne alimentaire est en train de changer sous les effets irréversibles, actuels et futurs, du réchauffement climatique que connaît la planète (Halbouché 2013). Durant les périodes caniculaires, les animaux sont soumis à un stress thermique parfois très important qui peut affecter non seulement leur bien être et leur état sanitaire, mais également leurs performances de production et de reproduction. Des paramètres tels que la vitesse de croissance, la consommation et l'efficacité alimentaires, la production laitière, l'intensité de ponte, la fertilité voire même la qualité des produits seront considérablement affectés, ce qui peut entraîner des pertes économiques importantes pour l'éleveur. Chez le poulet, par exemple, Settari et coll. (1999) estiment que les interactions entre génotype et température représentent 9,5 % à 12,4 % de la variabilité du poids et de la vitesse de croissance des broilers. Ceci constitue en effet une part importante de la baisse de la productivité des élevages dans les pays chauds. Or ceux-ci utilisent en majorité des souches sélectionnées dans des pays à climat tempéré. On peut donc se demander s'il ne serait pas intéressant de sélectionner directement ces souches en climat chaud (N'dri 2006) !!

Selon les projections établies par le GIEC, l'impact du stress thermique sur les productions animales peut être encore plus important là où il fait le plus chaud. Ainsi, l'Amérique du Sud, l'Europe du Sud, de vastes étendues d'Europe centrale et d'Asie, l'Asie du Sud, vont se retrouver en situation de déficit alimentaire alors qu'ils assurent actuellement la sécurité alimentaire mondiale tandis que des régions froides, peu peuplées comme le Canada,

l'Alaska, la Sibérie, les pays nordiques d'Europe vont devenir des zones à fort potentiel agro-écologique (Halbouche 2013).

Devant les difficultés d'adaptation des races améliorées aux régions chaudes, la lenteur d'une éventuelle sélection, et en raison de la complexité du caractère tolérance thermique (Monnet 1980), il devient urgent de développer des solutions et prendre des mesures pour vaincre les défis de l'avenir, qu'ils soient associés au changement climatique ou aux menaces de maladies émergentes.

Les ressources génétiques avicoles, en système d'élevage traditionnel, sont formées d'une multitude de populations souvent mal caractérisées. Les aptitudes de ces populations résultent principalement des effets combinés de la dérive génétique, des mutations, de la sélection naturelle et de l'action de l'homme, qui se sont cumulés depuis leur domestication dans différentes conditions de milieu (N'dri 2006)

Chez ces populations avicoles locales disséminées à travers le Monde, il subsiste un réservoir de gènes adaptatifs capables de corriger les défauts génétiques des souches sélectionnées (Halbouche 2013). Ces gènes adaptatifs revêtent de plus en plus d'importance, depuis quelques années et constituent une véritable alternative pour maximiser la tolérance à la chaleur chez les poulets sous les conditions chaudes. Ce sont principalement les gènes impliqués dans le déterminisme de l'emplumement, comme les gènes : Cou nu (*Na*), Frisé (*F*), emplumement lent (*K*) et plumage soyeux (*H*). La situation extrême consiste en l'absence totale de plumage avec la mutation Scaleless (*sc*), récemment introduite dans une lignée à croissance rapide (Cahaner et al. 2008).

A l'opposé, les animaux porteurs de la mutation crête en pois (*P*) ont une crête et des barbillons dont la taille est fortement diminuée ce qui réduit les pertes de chaleur par la crête, zone importante de déperditions de chaleur (Mandonnet et al. 2011). Par ailleurs, la couleur du plumage peut affecter indirectement la thermotolérance par son effet sur l'absorption de chaleur par rayonnement, plus élevée pour les couleurs foncées (Mérat et al. 1979).

L'amélioration de la thermorésistance des animaux par la sélection nécessite, en outre, des caractères héréditaires et facilement mesurables. Les méthodes classiques souvent utilisées pour évaluer le stress thermique chez le poulet telles que la mesure de la température corporelle interne et/ou l'intensité respiratoire semblent parfois lentes et imprécises. La thermographie infrarouge est dès lors la méthode de choix. Non invasive, elle ne nécessite pas de contact

avec l'animal et permet avec une grande précision une mesure simultanée de la température de surface de nombreux points corporels. Par le passé, la thermographie infrarouge a été utilisée pour évaluer le bien-être des animaux au cours de pratiques courantes d'élevage, comme l'écornage ou le contrôle de l'état de santé des veaux (Stewart et al cités par Weschenfelder 2014). Actuellement, la thermographie infrarouge est largement utilisée pour localiser les zones d'infections et d'inflammations, mettre en évidence les problèmes respiratoires et étudier les mécanismes de thermorégulation chez les animaux domestiques.

De manière générale, la meilleure connaissance de la variabilité génétique des populations animales passe principalement par la caractérisation phénotypique, génétique et historique afin de déterminer leur potentiel dans la contribution à la production alimentaire. Le poids accordé à chacun dépend du pays (par exemple, développé ou en développement) et de l'objectif (par exemple amélioration, conservation ou différenciation des races) (FAO 2013). Une bonne compréhension des caractéristiques des populations locales est nécessaire pour guider la prise de décision en matière de programmes de développement et de sélection des animaux d'élevage.

Le manuscrit de la thèse est organisé en 2 parties :

La première partie consiste à une revue bibliographique divisée en trois chapitres :

- Un premier chapitre s'inspirant en particulier de l'ouvrage de Coquerelle (2000) consistera à un rappel de la génétique visible de l'espèce poule.
- Un deuxième chapitre présentera des notions générales sur les ressources génétiques avicoles en exposant dans un premier temps, les différentes races de poules, les objectifs et les méthodes appropriées pour leur conservation et leur valorisation ainsi que les différentes méthodes de caractérisation. Dans un second temps, on présentera un exposé sur l'aviculture familiale dans les pays en développement et en Algérie.
- Le troisième chapitre de cette partie traitant les effets de la chaleur sur les performances des volailles de chair et les poules pondeuses et présente les solutions pour en atténuer l'effet défavorable par l'utilisation notamment d'animaux génétiquement résistants à la chaleur tels les phénotypes cou nu et frisés.

La seconde partie de cette thèse se divise quant à elle en deux chapitres.

- Dans le premier chapitre, nous présenterons les différentes démarches expérimentales mises en oeuvre pour étudier la diversité phénotypique des populations du poulet

local, et estimer les fréquences des gènes majeurs notamment ceux impliqués dans l'adaptation à la chaleur (Na et F). Nous présenterons ensuite les étapes du programme de sélection mis en place pour la création d'une souche de poulet thermo-tolérant par la fixation des caractères Na et F. Nous montrerons aussi à travers une expérience menée sur poules pondeuses les possibilités de la thermographie infrarouge pour la sélection de génotypes thermo-tolérants.

- Le deuxième chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus à l'issue des enquêtes et expériences réalisées.
- Au final, des conclusions et perspectives donnant des pistes pour des travaux futurs seront suggérées.

PREMIÈRE PARTIE.
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1.
GÉNÉTIQUE DE L'ESPÈCE POULE

CHAPITRE 1. GENETIQUE DE L'ESPECE POULE (*GALLUS GALLUS*)

1.1. Origine et domestication

1.1.1. Les espèces sauvages

Dans la plupart des cas, l'espèce poule désigne les deux sexes. A cause des caractéristiques spécifiques des femelles ou des mâles, l'espèce est souvent définie par le nom coq ou poule.

D'après Harrison cité par Coquerelle (2000), il y a plus d'un million d'années, le genre *Gallus* était probablement constitué d'une seule population s'étendant sur tout le continent eurasiatique. Pendant les périodes de glaciation, le genre *Gallus* se serait trouvé divisé en trois groupes: le groupe méditerranéen ou moyen-oriental, le groupe indien et celui d'Asie de l'Est. Seul le groupe indien aurait survécu et évolué pour donner naissance aux quatre espèces actuellement reconnues :

- ***Gallus varius*** : chez l'espèce, le coq est aussi appelé coq vert ou coq fourchu et présente de différence avec le coq domestique par son chant différent. Son plumage est verdâtre et la crête est non dentelée, le barbillon est unique et les plumes de la queue ont deux rectrices de plus. Il est trouvé le long de la côte de Java.
- ***G. sonnerati*** : le coq chez cette espèce est différent du coq de la Java par un plumage gris rappelant l'argenté sur une partie du corps et des plumes cornées au camail. On le rencontre en forêt dans le Sud-Ouest du Continent Indien.
- ***G. lafayetti*** : sa particularité réside sur la coloration de son plumage caractérisé par une poitrine brun clair orangé avec une tache violette en haut du cou et une tache jaune sur la crête. On le rencontre dans la zone boisée en Ceylan.
- ***G. gallus*** (coq rouge de jungle) : cet oiseau ressemble à certaines races domestiques de la variété rouge dorée à plastron noir si l'on fait référence aux coqs, ou dorée saumonée si l'on se réfère aux poules (Combattants, Ardennaise, Gauloise dorée, Leghorn dorée...). C'est l'espèce dont l'aire d'extension actuelle est la plus vaste. Actuellement, cinq sous-espèces sont reconnues (Crawford 1990, Coquerelle 2000) :
 - *G. g. gallus* en Thaïlande et dans les régions voisines, à oreillons blancs ;
 - *G. g. spadiceus* au Myanmar (Birmanie) et en Chine (Province du Yunnan), à oreillons rouges ;
 - *G. g. jabouillei* au sud de la Chine et au Vietnam, à oreillons blancs et à plumage plus rouge que doré ;
 - *G. g. murghi* en Inde, à oreillons blancs ;

- *G. g. bankiva* (Figure 1) endémique de l'Île de Java, à oreillons rouges et dont les plumes du camail et de la selle sont plus arrondies à leur extrémité.

La plupart des auteurs pensent que l'espèce ancestrale de la poule serait le *Gallus gallus* (poule de jungle Asiatique). Celle-ci donne non seulement des produits fertiles avec les poules domestiques actuelles mais partage en outre le chant et le plumage. Sa diffusion s'est effectuée graduellement, allant de l'Est à l'Ouest et a fini par couvrir le globe. Les informations archéologiques indiquent un centre de domestication des poules près de la vallée de l'Hindou, il y a 5 000 ans, et un autre en Chine orientale il y a au moins 7 500 à 8 000 ans (West et Zhou 1988).

1.1.2. La domestication

Les os de volaille sont facilement détruits par les prédateurs et chiens domestiqués par l'homme. C'est une des raisons pour lesquelles on ignore encore où et quand eut lieu la première domestication de l'espèce *Gallus*.

Fumihito et al. (1996) ont étudié l'ADN mitochondrial chez trois des cinq sous-espèces du type *Gallus gallus* (*Gallus gallus gallus*, *Gallus gallus spadiceus*, et *Gallus gallus bankiva*) ainsi que des animaux appartenant à plusieurs races domestiques et aux trois autres espèces sauvages de *galli* (*gallus varius*, *gallus lafayetti* et *gallus sonnerati*). Ils concluent qu'il n'y a pas de différence entre *Gallus gallus gallus* et, *Gallus gallus spadiceus* et les animaux domestiques et que ces derniers semblent bien être les descendants des *galli* sauvages continentaux. En revanche, le *Gallus gallus bankiva* appartient à un autre rameau et ne serait peut être pas une sous-espèce du genre *Gallus gallus*. Si cela était confirmé on devrait l'appeler *Gallus bankiva* et non plus *Gallus gallus bankiva*.

Il semble bien en effet que la première raison de domestication de la poule soit le coq et son caractère belliqueux pendant la période d'activité sexuelle. Cela a nécessité également un certain développement de l'agriculture pour pouvoir nourrir les oiseaux captifs.

L'introduction des poules en Afrique n'est pas très documentée alors que sa production prend racine des pratiques traditionnelles anciennes (Fosta 2008). En Egypte, la première représentation d'un coq remonte à 1400 ans avant J-C, mais aucune autre trace n'a pu être retrouvée jusqu'à environ 600 avant J-C. Puis, des restes squelettiques indiquent de nouveau sa présence en Egypte en 332 avant J-C, tandis que les recherches récentes en Afrique

Subsaharienne situent la présence des poules en Afrique au 5ème siècle de notre ère (MacDonald et Edwards 1993), bien avant l'arrivée des européens.



Figure 1: *Gallus gallus Bankiva*
(Source : Dr. Giuseppe MAZZA Journaliste – Photographe Scientifique)

La diversité génétique de l'espèce *Gallus gallus domesticus*, constituée d'un ensemble de populations (Figure 2), serait le résultat d'une domestication de 7 à 8 millénaires à travers une dissémination qui fût assurée par les migrations humaines (West et Zhou 1987). Quatre espèces sauvages de jungle sont classifiées : coq rouge (*Gallus gallus*), coq gris (*Gallus sonnerati*), coq vert (*Gallus varius*) et coq de Ceylan (*Gallus lafayetti*). Bien que l'origine exacte de la poule domestique soit contestée depuis des siècles (Darwin, Hutt cités par Coquerelles 2000), une étude plus récente semble confirmer que de multiples ancêtres seraient à l'origine de cette espèce (Eriksson et al. 2008).

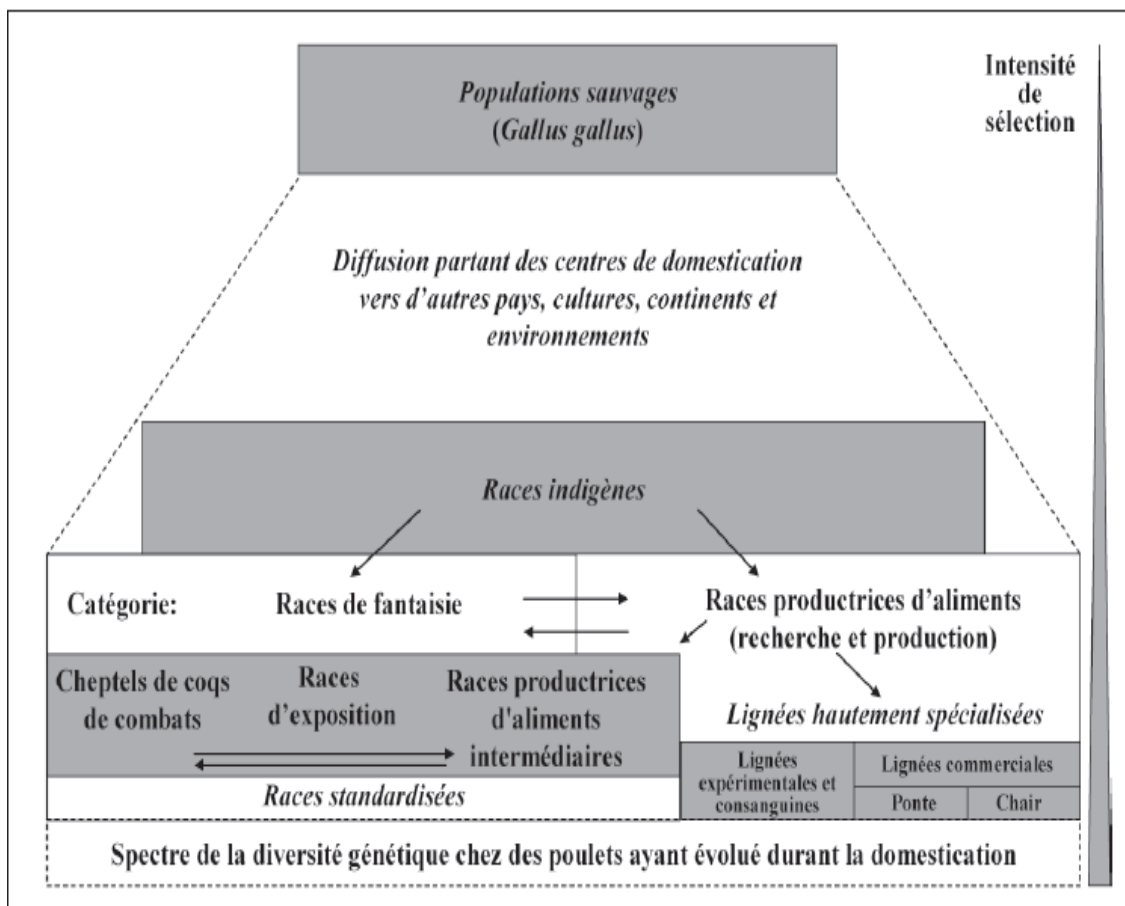


Figure 2 : Evolution de la diversité génétique du poulet (Weigend et Romavov 2001).

La création des races traditionnelles semble avoir été réalisée vers la fin du XIX^e siècle alors que les souches plus productives pour la viande ou les oeufs de consommation, à coquille blanche ou colorée, apparurent après la seconde guerre mondiale (Périquet 2006). En plus de contribuer à l'alimentation humaine, ces ressources génétiques jouent un rôle crucial dans la recherche fondamentale et appliquée, sans oublier l'agrément que procure l'aviculture comme activité ou passe-temps chez l'homme.

1.2. Principaux gènes affectant la structure et la répartition des plumes

(La synthèse qui suit s'inspire en particulier de l'ouvrage de G. Coquerelle (2000).

1.2.1. La structure des plumes

1.2.1.1. Le plumage frisé

Le plumage frisé est dû à l'allèle dominant incomplet F. Le caractère est très répandu notamment dans la zone intertropicale et il est connu depuis des siècles. Davenport (1906) semble avoir été le premier à signaler la dominance de ce caractère. Les animaux

homozygotes F : F possèdent des plumes très frisées, fragiles et cassantes, au rachis très recourbé et aux barbes également très frisées. L'hétérozygotie se manifeste par des hampes et des barbes recourbées mais bien moins que pour l'homozygote. C'est le type exposé par les amateurs. Sur le duvet du poussin d'un jour, F n'a pas d'effet visible. Boas et Landauer (1933) signalent que chez les homozygotes F : F le cœur est plus gros et bat plus vite. Chez les femelles cette accélération du rythme cardiaque est de 27% par rapport aux poules normalement emplumées. Cependant, il ne s'agit pas d'un effet permanent de F, puisqu'en augmentant la température ambiante, cette différence entre génotype disparaît. Cahaner et al. (1994) ne trouvent pas de différence liée à [F] pour la réduction d'emplumement chez le poulet, alors que, sur poule pondeuses, Horst et Mathur (1994) notent une réduction de plumage due à [F] de 10%, de 27% en présence de [Na] et de 42% avec l'association [Na F].

1.2.1.2. Le plumage soyeux

Le plumage soyeux h est dû à une mutation récessive autosomale peut-être située sur le chromosome 3 à 43 unités de recombinaison de Na. Ce sont Dunn et Jull (1927) qui ont proposé le symbole h pour *hookless* = sans crochets. En effet les barbules des plumes sont dépourvues de crochets, ce qui donne l'aspect ébouriffé du plumage. On trouve ce caractère dans plusieurs races, dont la plus connue est la nègre Soie. En France la poule Ivanaise aujourd'hui disparue (Péruquet 1994) possédait le caractère soyeux.

1.2.1.3. Le plumage de poule chez le coq

Le plumage de poule chez le coq est causé par un mutant dominant incomplet à effets limités à un sexe Hf (pour *hen feathering*) décrit par Punnett et Bailey (1918). Chez le coq homozygote Hf Hf, la forme et la structure des plumes sont semblables à celles présentées par la poule (carnail, dos, rein, épaules et petites couvertures alaires...). Il existe encore un petit nombre de coqs Combattants du Nord présentant la mutation Hf. On la retrouve également chez les combattant Antillais (variété dite faisan), chez les Combattants espagnoles (variété dite *gallinos*) et chez les Combattants anglais (variété Hennie). Après la mue, en seconde année, fréquemment les coqs hétérozygotes prennent vraiment le plumage de poule, comme les homozygotes. Le duvet des animaux n'est pas affecté par Hf, ni le plumage des poules (par définition). C'est donc un caractère dont les effets sont limités à un sexe.

1.2.1.4. Vitesse d'emplumement

- Série allélique $K^n K^s K k^+$

Serebrovsky (1922) a montré qu'un gène situé sur le chromosome Z est responsable d'un mauvais emplumement. Il s'agit du gène K. le type sauvage k^+ correspond au type rencontré dans la plupart des races dites méditerranéennes, à emplumement rapide. Inversement la plupart des races asiatiques, anglaises et américaines sont à emplumement lent K. Le symbole K a été utilisé pour la première fois par Hertwig et Rittershaus en 1929 pour *Kurzer Flugel* qui veut dire aile courte. A la naissance, les poussins à emplumement rapide k^+ présentent des rémiges primaires et secondaires ainsi que des couvertures bien apparentes, les rémiges étant plus longues que des couvertures alors que les poussins K présentent des rémiges de la même longueur que les couvertures ; les males K K peuvent même avoir les rémiges plus courtes que les couvertures. Ce couple d'allèles k^+ et K sert depuis de nombreuses années à effectuer des croisements sexables à un jour.

Somes (1969) a trouvé un emplumement extrêmement lent auquel il donné le symbole K^n . cet emplumement est dominant à la fois sur K et sur k^+ et donne des phénotypes variés à l'âge adulte avec des animaux extrêmes, presque nus. Mc Gibbon (1977) a signalé un autre mutant à emplumement lent qu'il a nommé K^s . Ce type d'emplumement est plus lent que K et il a un effet moins prononcé que K^n .

1.2.1.5. La huppe

Série Cr (pour *Crest*), cr^+ . Ce caractère est dominant incomplet, et appartient au groupe de liaison II, à 12,5 du locus I et à 29,5 du locus F (Hurst 1905, Davenport 1906). Hurst a montré que la huppe est un caractère dominant, Davenport que c'est un caractère simple (monofactoriel). La huppe est provoquée par un allongement des plumes situées à l'arrière de la crête. Pendant quelque temps on a pensé que l'homozygotie pour la huppe s'accompagnait de la hernie céphalique, mais il y a des animaux Cr Cr sans hernie et des animaux Cr cr^+ avec hernie. Il existe non seulement différentes tailles mais également différentes formes de huppe. Toutes ces tailles et formes de huppées semblent bien dépendre du même locus et toutes se comportent comme étant dues un mutant dominant autosomal lié au locus I et également à F.

1.2.1.6. La barbe et les favoris

Série Mb (pour *muffs et beard*), mb^+ . Ce caractère est incomplètement dominant (Davenport 1906). Les favoris consistent en un allongement des plumes portées horizontalement de

chaque côté de la face, et la barbe en un allongement des plumes situées sous le bec à la verticale en direction du bas. Mérat (1962) a montré que ce caractère réduit très fortement la longueur des barbillons. Cette réduction est plus marquée pour les homozygotes que pour les hétérozygotes. La mutation « barbes et favoris » est nommée également « tête de hibou » ou « cravate ».

1.2.1.7. Queue très longue

Deux loci bialléliques sont impliqués dans l'allongement des plumes de queue, symbole Gt (pour : *continual growth of part of the tail*, croissance continue d'une partie de la queue) : gt^+ , allèle « normal » et Mt^+ (pour *molt*, mue normale), mt empêchant la mue de certaines plumes de la queue et de la selle (Coquerelle 2000).

1.2.2. La répartition des plumes

1.2.2.1. Nu

Série biallélique n , N^+ : ce caractère est récessif lié au sexe. Cette nudité peut être totale ou ne réduire le plumage que de 25%. Le caractère « n » a une action sublétales puisqu'environ la moitié des animaux exprimant ce caractère meurt dans les trois derniers jours d'incubation et que parmi les poussins éclos la moitié encore meurt avant l'âge de 6 semaines ! Ce caractère n'est donc pas très souvent observé et aucune race n'a été fixée pour l'allèle « n » (Coquerelle 2000).

1.2.2.2. Nu sans écailles aux pattes

Série Sc^+ sc (pour *scaleless*). Ce caractère est récessif autosomal. Non seulement il supprime les follicules des plumes, mais aussi les écailles aux pattes ainsi que les ergots et les coussins plantaires. Son action se situe donc plus au niveau de la peau que des plumes, mais l'effet le plus spectaculaire est la nudité avec une peau lisse. Par rapport à leurs homologues normalement emplumés, les $sc\ sc$ sont plus riches en protéines et minéraux et plus pauvres en graisse. Cependant, la sensibilité aux griffures et aux coups de bec limite l'intérêt des animaux $sc\ sc$.

1.2.2.3. Cou nu

Série Na (pour *naked neck*), na^+ . Na , dominant incomplet autosomal est situé sur le chromosome 3, lié au groupe sanguin EaP et peut être à h (plumage soyeux) et FI (rémiges

cassantes). Greenwood (1927) a étudié la distribution des plumes et des surfaces emplumées (ptérylies). Chez l'animal cou nu les ptérylies sont moins étendues et dans les aptéries (zones non emplumées) il y a absence de duvet. Les zones de peau non recouvertes (notamment le cou) rougissent à la maturité sexuelle et Freund (1925) a trouvé que ces parties ont la même structure histologique que celle des barbillons. L'animal de génotype Na Na étant plus déplumé que l'hétérozygote Na na⁺, Na est donc un dominat incomplet. A la naissance on reconnaît les poussins Na Na des Na na⁺ par la quasi-absence de duvet sur le devant du cou des premiers, les hétérozygotes possédant une touffe de duvet à cet endroit. De plus, les homozygotes, sont caractérisés par l'absence de duvet entre l'œil et le bec. L'action de Na ne se limite au cou, même si c'est là qu'elle est la plus voyante. Toutes les ptérylies sont réduites, et la face interne de la cuisse est presque nue chez les homozygotes. Mérat (1986), Horst et Rauen (1986), Rauen et al. (1986) ont fait le point sur ce caractère, notamment sur l'interaction entre Na, na⁺ et milieu tempéré ou chaud. A 24-25°C la croissance et l'efficacité alimentaire diffèrent peu entre les génotypes Na na⁺ et na⁺ na⁺. Vers 30°C et au-dessus, les homozygotes et les hétérozygotes à cou nu sont plus lourds que les na⁺ na⁺ et leur efficacité alimentaire est aussi bonne sinon meilleure.

D'autre part, quelle que soit la température d'élevage, le rendement en viande des carcasses est augmenté. Cela est dû, d'une part à la diminution de la masse de plumes (-40% pour les Na Na, -30% pour les Na na⁺) et à l'augmentation de la masse musculaire de la poitrine de 2 à 7% chez les mâles et de 1 à 5% chez les femelles suivant les populations étudiées. Il n'a pas de différences entre Na na⁺ et na⁺ na⁺ pour le gras abdominal mais les poulets Na ont moins de gras sous-cutané et intermusculaire que les na⁺ na⁺.

Pour la ponte à température élevée, l'effet le plus important est la mortalité inférieure des poules « Cou nu » comparées aux poules na⁺ na⁺; s'y ajoutent un poids moyen d'œuf supérieur et vraisemblablement une meilleure qualité des coquilles et une ponte plus persistante (Mérat 1990).

Quant à la mortalité adulte, si à température modérée (20°C) on n'observe pas de différence entre Na et na⁺, à 30°C et plus, les poules Na na⁺ ont un meilleur taux de survie que leurs sœurs na⁺ na⁺ (Rauen et al. 1986)



Plumage frisé



Plumage soyeux (poule nègre-soie)



Tête huppée



La barbe et les favoris



Poulet Cou nu



Poulet sans plumes

Figure 3: Quelques mutations affectant la structure, la longueur et la répartition des plumes chez la poule.

1.2.2.4. Tarses emplumés

Trois loci bialléliques Pti1 pti1⁺, Pti2 pti2⁺, Pti3 pti3⁺ (pour *ptilopody*) peuvent induire ce caractère qui se rencontre dans de nombreuses races, mais avec des différences notables.

Chez la Bréda, la Langshan, la Sundheimer, la Faverolles, la Meusienne, la Marans, seuls le côté extérieur des pattes et les doigts extérieurs sont emplumés. La Brahma et la nègre Soie ont en plus les doigts médians et extérieurs emplumés. L'étude d'un caractère avec de telles variations n'est pas chose aisée. Effectivement, si Hurst (1905) sur la race Cochin conclut à une dominance incomplète, Punnett et Bailey (1918) font une autre analyse de ses résultats et pensent qu'ils peuvent s'expliquer par deux loci, chacun pouvant donner des tarses emplumés. Serebrovsky (1926) considère qu'un gène « récessif » est en cause chez la race Pavloff, bien que 40% des hétérozygotes présentent un très faible emplumement. Pour la race Brahma, ce même auteur propose deux gènes dominants. De tout ceci on peut tirer la conclusion que trois loci principaux sont impliqués dans l'emplumement des tarses et des doigts. Il y a deux gènes dominants situés à des loci différents, qui, lorsqu'ils sont présents ensemble, donnent la patte très emplumée des races Barbut d'Uccle, Cochin, Sultane et Sabelpoot. Simes (1990) propose les symboles Pti1 et Pti2. L'emplumement des tarses et des doigts des races Langshan, Faverolles et Bréda serait dû à un seul de ces deux gènes et l'emplumement de la Pavloff serait dû à un allèle récessif situé à un troisième locus, soit Pti3. Quant à l'emplumement des races nègre Soie et Brahma, il pourrait s'agir d'un troisième allèle à l'un des deux loci Pti1 ou Pti2 (Simes 1990).

1.2.3. Gènes affectant la crête

1.2.3.1. La crête en rose ou « rosacée »

La crête rosacée est un caractère à dominance complète. Il s'agit du premier caractère étudié chez la poule par Bateson qui avec Punnett (1906) lui a donné le symbole R. La crête rosacée peut présenter des différences notables suivant les races, sous l'effet de gènes modificateurs. Cochez (1951) puis Crawford et Merritt (1963) constatent que le sperme de coqs R R est moins fécondant que celui des R r⁺ et des r⁺ r⁺. Cette mauvaise fertilité a été imputée à plusieurs causes. La première est que les coqs R R sont moins actifs du point de vue accouplement (Cook et Siegel 1973); la seconde est que la durée de fertilité après l'insémination est plus courte (Crawford et Smyth, 1964); la troisième est due à une moindre motilité des spermatozoïdes après stockage du sperme (Petitjean et Cochez 1966). Enfin,

l'activité enzymatique n'est pas la même que pour le sperme des coqs $R r^+$ et $r^+ r^+$ (Buckland et al. 1968, Petitjean et Servouse 1981).

1.2.3.2. La crête en pois

L'allèle P est dominant incomplet sur p^+ crête non en pois (Bateson 1902, Bateson et Punnett 1906). A l'état homozygote, soit P P, la crête est petite et constituée de trois rangées de papilles, la rangée centrale étant la plus développée. Chez les animaux P p^+ la crête est suffisamment développée chez l'adulte pour être tombante. A la naissance on peut identifier P sans problème. Selon Mérat (1990), cette mutation est parfois associée à une moins bonne croissance à 8 semaines et elle diminue la consommation résiduelle à 1,8%. Hartmann (1972) a montré qu'il y a plus d'ampoules au bréchet chez les animaux P p^+ que chez les $p^+ p^+$ de même origine. Enfin Buckland et Hawes (1968) ont associé P à une fertilité légèrement diminuée.

1.2.3.3. La crête en noix

Cette forme de crête est due à l'action complémentaire des allèles R au locus R et P au locus P. Généralement la crête en noix est divisée en deux parties par un sillon transversal, la partie antérieure étant plus large que la postérieure. En diminuant fortement la taille de la crête et des barbillons, cette association de P et R diminue également les pertes de chaleur dues aux appendices dénudés et les risques de gelure de ceux-ci.

1.2.4. Gènes affectant la taille

1.2.4.1. Le nanisme lié au sexe

La première description est due à Hutt (1949) qui trouve un nanisme récessif auquel il donne le symbole pour dwarf (nain). Ce nanisme n'est pas visible à l'éclosion. Hutt le considère comme complètement récessif. Les os sont raccourcis, notamment les tarses l'allèle dw est certainement une des mutations de l'espèce poule qui a été la plus étudiée, pour son intérêt zootechnique et fondamental. En résumé, dw diminue le poids des poules de 30% environ. L'efficacité alimentaire est améliorée de 3% pour les naines légères et jusqu'à 37% pour les naines de type chair. Les poules nanifiées dw pondent très peu d'œufs hardés ou à plusieurs jaunes, de plus leur pourcentage d'œufs cassés est très fortement diminué par rapport à celui des poules normales Dw^+ .

1.2.5. Gènes affectant la coloration de la peau et ses annexes

Les pattes, la crête, la peau et les oreillons peuvent présenter différentes colorations, suivant qu'il y a présence ou absence de xanthophylles dans l'épiderme, présence ou absence de mélanine dans le derme ou l'épiderme

1.2.5.1. Coloration des pattes

La présence ou l'absence de pigments xanthophylles dans l'épiderme dépend des deux séries alléliques suivantes :

- *La série allélique $W^+ w$* : l'allèle W^+ dominant autosomal donne une patte blanche (white) de type sauvage par opposition à la patte jaune parce qu'il empêche le dépôt des pigments xanthophylles dans la peau, les tarses, le bec et les graisses. En présence de l'allèle Id , il donne une coloration du tarse blanche ou blanc rosé et en son absence une coloration du tarse gris bleu ardoisé (Bresse gauloise, Ardennaise, etc). L'autre allèle à ce locus est w , récessif autosomal (Bateson 1902), il donne la coloration jaune car il permet à l'état homozygotes (ww) le dépôt des pigments xanthophylles dans le bec, les tarses, la peau et la graisse. Il faut attendre l'âge de 8 semaines pour être certain d'identifier w . En présence de l'allèle Id , il donne la patte de coloration jaune, et, sinon la patte de coloration verte. w est présent dans certaines lignées commerciales de chair de type industriel. Les bonnes pondeuses ww ont les pattes beaucoup moins jaunes en fin de ponte que les mauvaises pondeuses car elles exportent davantage de pigments par le jaune de l'œuf.

- *La série $Y^+ y$* : l'allèle Y^+ (pour yellow) de type sauvage est dominant. En présence de ww il permet la coloration jaune des tarses et de la peau. L'allèle y récessif (Mc Gibbon 1981) élimine la pigmentation jaune des tarses et de la peau des animaux ww et il diminue la coloration du jaune de l'œuf. Ce mutant diminue la vitesse de croissance et l'efficacité alimentaire (Patterson et al. 1983). Il a donc un effet pléiotrope. Il est en partie épistatique sur w .

1.2.5.2. La présence de mélanine dans la peau

La présence ou l'absence de mélanines dans le derme est déterminée par la série $Id\ id^+ id^C id^M$. L'allèle dominant Id est inhibiteur du pigment noir dans le derme. Il empêche la déposition de mélanine dans le derme des tarses. En présence de l'allèle W^+ il donne la patte

blanche ou rosée, et en présence de ww la patte jaune. L'allèle id^+ correspond au type sauvage et longtemps considéré comme le seul allèle « patte bleue ». Cependant, l'allèle id^M pourrait expliquer également la couleur bleu ardoise des pattes de la Minorque chamois et de la Bresse blanche. L'allèle id^M fonce la couleur des yeux même en présence de e^+ = yeux rouge soutenu. L'allèle id^C colore le bec et un peu le plumage, même en présence de I.

Quant à la présence de mélanines dans l'épiderme, elle dépend de l'interaction de plusieurs loci. La coloration noire de l'épiderme des tarses dépend de cinq gènes majeurs permettant l'extension du noir sur le plumage : E à l'état homozygote, ainsi que E^R mais un degré moindre. L'allèle I inhibe le noir de l'épiderme des pattes comme des plumes. Les allèles B (barrure liée au sexe) et mo (caillouté) diminuent également la mélanisation des tarses.

Par ailleurs, la coloration noire ou bleuâtre de l'épiderme de la face et des appendices (crête, barbillons, oreillons) présente chez certaines races (Ardennaise, Combattants Belges. etc, certaines variétés de Combattants anglais, Sumatra, etc) est d'origine génétique et semble liée elle aussi aux allèles E et E^R , mais toutes les races portant E ou E^R n'ont pas cette pigmentation. Cela indique que si ces allèles sont nécessaires ils ne sont pas suffisants (notons au passage que les races citées sont toutes à pattes bleues ou vertes). Dans une étude de la pigmentation noire (Anonyme cité par Coquerelle 2000) de la face, de la crête et des barbillons présente dans la race Ardennaise, il a été suggéré que le caractère pourrait être déterminé par un gène dominant incomplet nommé Fp pour forte pigmentation.

1.2.5.3. Coloration des oreillons

De nombreuses races dites méditerranéennes ainsi que les plus anciennes races continentales européennes ont les oreillons blancs, certaines bleuâtres. Les races asiatiques ont plutôt les oreillons rouges. La coloration blanc crème présente chez certaines races à peau jaune correspond à la présence de pigments xanthophylles que permet le génotype $w : w$. Warren cité par Coquerelle (2000) conclut son étude sur la coloration de l'oreillon en écrivant qu'elle dépend de plusieurs gènes, que des races ayant la même couleur d'oreillons peuvent différer de façon considérable quant à leur génotype.

1.2.5.4. Pigmentation de l'œil

La couleur de l'œil dépend des proportions relatives des pigments xanthophylles (principalement caroténoïdes) et des mélanines, masquant plus ou moins la coloration rosâtre à rouge due aux capillaires sanguins.

La génétique de la pigmentation de l'œil n'est pas bien connue. Pour différencier la couleur de l'œil des différentes races, les standards sont peu précis. La couleur va du noir au perle, en passant par le brun noir, le brun foncé, le rouge brun, le rouge, le rouge orangé et le jaune brun.

1.2.6. Principaux gènes de la coloration du plumage

Le plumage peut être coloré de noir, de gris, de bleu ou vert optique et de brun grâce aux eumélanines noires et brunes. Les phaeomélanines sont responsables des colorations jaunes à rouges. Les xanthophylles ne semblent pas intervenir dans le plumage de l'espèce Gallus. Deux séries alléliques au locus C et au locus I commandent l'expression de la coloration. L'allèle C⁺ permet la coloration du duvet et du plumage par les pigments noirs, bruns et rouges. Par conséquent toutes les races colorées portent cet allèle.

Le blanc récessif est dû à l'allèle c (Bateson et Punnett 1906) qui généralement donne à l'état homozygote un duvet jaune très clair et des rémiges blanches chez le poussin d'un jour. Le plumage est blanc, les yeux colorés. L'allèle I (Bateson 1902) inhibe la formation des eumélanines et dans une moindre mesure celle des phaeomélanines dans le duvet et le plumage.

Tableau 1: Principaux gènes de coloration ou à effet morphologique chez la poule.

Allèles		Autosomal (A) Lié au sexe (LS)	Appellation du mutant et dominance		Effet
Sauvage	mutant				
Coloration du plumage					
C+	C	A	Blanc (récessif)		Supprime la pigmentation noire et rouge (mélanine) Supprime la pigmentation noire seule Supprime la pigmentation rouge seule Supprime toute coloration, pupille comprise Plumage en majorité ou entièrement noir
i+	I	A	Blanc (dominant)		
s+	S	LS	Argenté (dominant)		
e+	sal	LS	Albinos (récessif) Extension du noir		Réduction variable du noir
	E	A	(dominant) Autres allèles, avec divers degrés de Dominance		
		E ^{wh} , ...	A	Barrure (dominant)	
b+	B	LS			Plumes barrées de blanc
Coloration de la peau					
w+	W	A	Pattes et peau blanches		Supprime le pigment jaune (xanthophylles)
Forme de la crête			(dominant)		
r+	R	A	Crête en rose (dominant)		Crête aplatie (type Wyandotte) Crête petite avec bourrelet (type Cornish)
p+	P	A	Crête en pois (dominant)		
Précocité d'emplumement					
k+	K	LS	Emplumement lent (dominant)		Pousse tardive des rémiges et retard d'emplumement
Extension et structure du plumage					
na+	Na	A	Cou nu (dominant)		Plumage restreint, notamment dans la région du Cou Plumes recourbées
f+	F	A	Frisé (dominant)		
Couleur de la coquille					
o+	O	A	Oeuf bleu (dominant)		Présence d'un pigment bleu (biliverdine) dans la coquille

Source : Babilé 2006

CHAPITRE 2.
GÉNÉRALITÉS SUR LES RESSOURCES
GÉNÉTIQUES ANIMALES

CHAPITRE 2. GENERALITES SUR LES RESSOURCES GENETIQUES ANIMALES

2.1. La conservation de la biodiversité

L'amélioration génétique des animaux domestiques a abouti, chez toutes les espèces, à la création de souches ou lignées bien caractérisées quant à leurs aptitudes zootechniques. Mais l'évolution moderne tend à ne conserver que les plus performantes d'entre elles qui sont alors très largement utilisées (exemples : bovins de race Frisonne, poulets de type Cornish) au détriment de toutes les autres. Bien entendu, tous les gouvernements recherchent la croissance économique, mais il serait souhaitable qu'ils s'intéressent également à la conservation de la biodiversité (Ricard et Petitjean 1988). Selon Tixier-Boichard (2006), une classification des populations animales en tant que ressources génétiques a été proposée par Lauvergne (1982). Elle permet de distinguer les populations traditionnelles, présentant encore une importante variabilité phénotypique visible, les races standardisées, les lignées sélectionnées et les lignées consanguines.

Afin de freiner la perte des ressources génétiques (RG), il pourrait être nécessaire d'élaborer des politiques parallèles aux objectifs forts différents (FAO 2006). En dépit des nombreux efforts déployés par des particuliers, des gouvernements et des organisations non gouvernementales, les ressources génétiques animales continuent de disparaître. Il est aujourd'hui indispensable de renforcer les investissements stratégiques en faveur de leur conservation et d'instaurer une collaboration internationale (FAO 2006).

D'après les rapports de pays soumis à la FAO, de nombreuses races plus particulièrement menacées se trouvent dans des pays en développement disposant de moyens limités pour concevoir et exécuter des programmes de conservation. La situation est grave, les races élevées dans ces pays présentant souvent des caractères génétiques uniques qui leur permettent de survivre dans des milieux confrontés à des agressions simultanées, comme la maladie et la sécheresse. A l'heure actuelle, les efforts de conservation, tout comme la capacité de mise en œuvre des mesures, varient considérablement d'un pays à l'autre. De nombreux pays en développement et plusieurs pays développés indiquent qu'ils n'ont pas de politiques ou de programmes spécifiques pour assurer la conservation des ressources génétiques animales, mais considèrent toutefois qu'il conviendrait d'établir un programme d'ensemble national en la matière (FAO 2006). Cela pourrait être une occasion de s'interroger sur les raisons pour lesquelles les éleveurs se détournent de certaines races et de remettre en

question les politiques favorables aux races exotiques et susceptibles de mettre en péril les races indigènes. D'autres rapports de pays mentionnent l'existence d'un programme de conservation, mais les capacités de mise en œuvre varient sensiblement. Plusieurs pays en développement soulignent qu'en dépit de la sensibilisation à l'importance de conserver les ressources génétiques animales, l'insuffisance des moyens financiers et humains ainsi que le manque d'infrastructures ne permettent pas d'appliquer les mesures prises (FAO 2006).

Tableau 2: Les statuts de risque des races de poules dans le monde entre 2007 et 2010 (Food and Agriculture Organisation, 2007-2010).

Statut de risque	2007	2010
Races critiques	156	130
Races critiques maintenues	9	16
Races en danger	212	226
Races en danger maintenues	42	83
Races éteintes	40	43
Races sans risques	321	357
Races inconnues	493	563
Total	1273	1418

2.1.1. La conservation *in situ*

La gestion des ressources génétiques animales s'effectue essentiellement *in situ*, c'est à dire avec des animaux vivant dans leurs conditions habituelles d'exploitation. La cryopréservation de matériel génétique (semence, embryons, cellules, ...) constitue soit une aide à court terme à la gestion *in situ*, soit une sécurisation sur le long terme (Lauvie 2007).

S'agissant de préserver des races d'une espèce d'élevage, la conservation *in situ* est incontournable car dans le court terme, elle permet de tirer profit rapidement d'une production alimentaire différenciée et dans le long terme elle préserve la diversité. La FAO propose différentes stratégies d'intervention pour des actions conservatoires *in situ* en fonction du statut à risque des populations concernées.

La conservation *in situ* (opérations durables réalisées sur l'exploitation) est la seule mesure concrète sur laquelle peuvent s'appuyer certains pays. Les responsables politiques et les producteurs sont beaucoup plus intéressés par la conservation des ressources génétiques animales lorsqu'il existe un lien avec l'utilisation. Certaines races verraient leur effectif s'accroître à un niveau sécurisant si elles étaient associées à un produit en demande sur le

marché. Dans les pays en développement, on constate généralement que les consommateurs préfèrent, par exemple, le lait de buffle ou de zébu à celui des races croisées ou exotiques. En Asie, les consommateurs sont prêts à payer parfois deux fois plus cher pour la volaille locale (Dolberg 2005). En Afrique, quelle que soit l'espèce, les animaux achetés à des fins culturelles particulières se paient à des prix plus élevés. La commercialisation des produits non alimentaires, tels que les cuirs de grande qualité provenant de races locales résistantes aux parasites, contribue de manière significative à la durabilité économique des races locales (Ramsay 2002).

2.1.2. La conservation *ex situ*

La cryoconservation est une composante importante d'un programme de conservation. La diversité génétique de l'espèce « Poule » qu'elle permettrait de stocker est d'un grand intérêt pour la communauté scientifique et l'industrie en général. Une sauvegarde du matériel génétique par la cryoconservation sécurise de façon sanitaire les systèmes de production, conserve des génotypes originaux ou améliorés et en améliore la diffusion ainsi que l'efficacité de la sélection (Larivière et Leroy 2008).

Selon Blesbois et al. (2005): La cryoconservation de semence de l'espèce *Gallus gallus* est délicate et onéreuse car :

- Elle est porteuse des organismes infectieux dont serait porteur l'individu prélevé. Le prélèvement se fera sur des individus ayant suivi un programme d'assainissement contre les principales maladies contagieuses, auquel auront également été soumis les parents ;
- Les spermatozoïdes résistent faiblement et variablement (en fonction de la race) à la congélation-décongélation que requiert l'insémination artificielle ;
- Les ovules de poules ne sont pas congelables.

Une fois que les races à conserver sont identifiées et le plan de conservation défini, des voies de valorisation doivent être proposées. En effet, les races locales sont menacées essentiellement parce qu'elles sont moins productives et moins rentables que les races sélectionnées ou parce que les produits issus de leur élevage sont plus difficilement commercialisables. La recherche de débouchés économiques est dès lors primordiale pour encourager les éleveurs impliqués dans le programme de conservation.

2.1.3. Quelle conservation est-elle appropriée pour les RG existantes ?

La plupart des pays du monde connaissent une diminution rapide des effectifs de nombreuses races et variétés locales de poulets, certaines étant en danger d'extinction. La maturité sexuelle tardive, la faible production d'œufs, la croissance lente, la couvaison, les œufs et les oiseaux de petite taille, sont autant d'inconvénients chez les poulets locaux. Compte tenu de la nécessité d'une amélioration rapide de la capacité de production de volailles aussi bien en œufs qu'en viande, les éleveurs ont eu recours à l'introduction de matériel génétique amélioré hautement productif. Les systèmes d'amélioration adoptés sont le croisement de races exotiques avec des races locales ou même le remplacement total d'oiseaux locaux par les exotiques. À la suite de nombreuses différentes combinaisons génétiques réalisées, il s'est produit une diminution progressive et même la disparition définitive de certaines races locales. En analysant l'état des ressources zoo-génétiques dans le monde, la FAO a constaté que de 2000 races aviaires pour lesquelles des données étaient disponibles, 30% ont été déclarées à risque, 35% ne l'ont pas été, et le reste ayant un statut inconnu (Hoffmann 2008). Des taux d'introgression variant de 16 à 47% des lignées sélectionnées chez les poulets locaux ont été rapportés au Cameroun (Fotsa 2008). Un plan d'action mondial pour les ressources zoo-génétiques et la conservation des ressources génétiques avicoles a été mis au point par Hoffmann (2008). De la base de données de la FAO, on estime que près de 25% des races de poulets sont inclus dans les programmes de conservation, mais, il n'y a aucune information sur l'efficacité de ces programmes. Selon la FAO (2010), seulement 7,5% des pays en voie de développement ont des programmes de conservation avicole couvrant 63% de races locales et 11% des populations nationales des races transfrontières.

2.2. La gestion de la variabilité génétique

Les outils de la génétique peuvent permettre, à travers l'établissement d'indicateurs, d'évaluer la variabilité génétique au sein des populations (variabilité intra-population). Verrier et al. (2005), rappellent que l'on dispose de plusieurs informations pour apprécier la variabilité génétique : l'observation des phénotypes des animaux, la connaissance de leur généalogie, les marqueurs biochimiques et moléculaires.

2.3. La notion de race

Le terme de race est largement utilisé, par les scientifiques comme par les différents acteurs de terrain. Cependant, la notion de race ne peut être définie simplement. Les scientifiques

peuvent l'aborder de multiples points de vue, de la systématique à la zootechnie et à la génétique, comme le souligne Pellegrini (2005). Selon Vissac (1993), « La population animale est définie par les biologistes et les zootechniciens par le contenu d'information génétique qu'elle recèle. Mais on peut aussi considérer la population animale comme un objet de pratiques collectives de sélection et d'élevage qui modifient, volontairement ou non, son contenu biologique. » Vissac souligne que les deux définitions, biologique et culturelle, sont liées. Pour lui « la première traduit un effet et la deuxième en constitue la cause ». Flamant (1988) définit quant à lui la race comme « une entité, existant à l'intérieur d'une espèce animale, définie par le fonctionnement d'un réseau d'échanges de reproducteurs entre éleveurs, associés entre eux par la proximité géographique, par des systèmes d'élevage similaires et par des finalités économiques et culturelles communes. »

2.3.1. La caractérisation des races

En termes statistiques, la caractérisation phénotypique peut adopter l'une des deux approches suivantes, selon le type d'informations de base disponibles :

- *L'approche exploratoire* : Mise en oeuvre dans les cas où aucune donnée de base fiable sur l'existence des races dans la zone d'étude n'est disponible; dans de telles circonstances, la caractérisation phénotypique vise à enquêter sur l'existence de races distinctes dans la zone d'étude.
- *L'approche confirmatoire* : Mise en oeuvre dans les situations où certaines informations de base sur l'identité et la distribution de la race sont disponibles; dans de telles circonstances, l'objectif de la caractérisation phénotypique est de valider l'identité de la race et de fournir des descriptions systématiques de cette race (FAO 2013).

Si les données secondaires disponibles sont insuffisantes pour établir des plans pour la caractérisation phénotypique, des données préliminaires devront être collectées sur le terrain sur l'identité, la répartition géographique et l'importance relative des populations constitutives des ressources zoo-génétiques (races reconnues au niveau local et national, populations non-décrites, etc.) dans la zone d'étude, afin de déterminer si une approche exploratoire ou confirmatoire est nécessaire. Les activités préliminaires de collecte de données peuvent inclure des « expéditions cartographiques », c-à-d des déplacements au sein de la zone d'étude pour évaluer approximativement la répartition géographique des différentes populations et des « évaluations rapides » qui consistent à l'utilisation d'une gamme de techniques de terrain

(complétées le cas échéant par des informations provenant de sources secondaires) pour obtenir des informations auprès des populations locales. Lors de l'évaluation rapide, les enquêteurs peuvent collecter des informations grâce à des réunions de groupe et des entretiens avec des éleveurs individuels et d'autres «informateurs clés» possédant des connaissances sur le sujet concerné, et en observant directement les ressources zoo-génétiques (FAO, 2013).

2.3.1.1. Inventaire

Les inventaires comportent le recueil d'informations sur chaque race, pour une *caractérisation phénotypique* dont le but est d'évaluer les différences entre races et de déceler, si possible, la part d'origine génétique de ces différences (FAO 2012). Les caractères considérés sont d'abord les caractères visibles et généralement qualitatifs, comme la couleur de la robe ou du plumage, et de nombreux caractères morphologiques. Il s'agit souvent de caractères dont le déterminisme génétique est assez simple et qui sont peu influencés par le milieu. À l'opposé, les performances zootechniques sont des caractères quantitatifs très dépendants du milieu. L'estimation des différences génétiques entre races pour ces caractères requiert la mise en œuvre de protocoles expérimentaux rigoureux, dont le coût devient vite rédhibitoire à mesure que le nombre des races à évaluer augmente et que leur dispersion à travers le monde s'élargit. La diversité en nombre de races reste malgré tout un indicateur de diversité génétique, puisque l'isolement géographique et reproductif des races implique de la dérive génétique et que s'y ajoutent les changements génétiques induits par la sélection des éleveurs pour des objectifs différents selon les régions, ou qui résultent de l'adaptation des races à leur environnement de production et au milieu naturel propre à chaque région. Mais si on mesure la diversité génétique sur la base du nombre de races, on s'expose à la surévaluer dans les régions ayant une longue tradition de sélection organisée pouvant aboutir à distinguer des races très apparentées, et, inversement à la sous-estimer dans les pays à sélection peu structurée, où les races peuvent recouvrir une diversité de sous-types non encore identifiés (FAO 2007).

2.3.1.2. Caractérisation phénotypique

La caractérisation phénotypique des ressources zoo-génétiques correspond à l'identification des différentes races et à la description de leurs caractéristiques externes et de production dans un environnement et un cadre de gestion donnés, en tenant compte des facteurs socio-économiques qui les affectent (FAO 2013). Chez la poule, l'examen phénotypique permet de

caractériser les types génétiques. Il consiste à recenser dans la population les différents coloris de plumage rencontrés (coloris certainement dus à la présence de gènes à effets majeurs ou à des interactions entre gènes) et à utiliser les phénotypes réguliers pour créer des groupes. Cette forme de caractérisation ne tient pas seulement compte du plumage. Selon Periquet (1997), un coloris de plumage ne suffit pas à déterminer une race. Une race est déterminée par un ensemble de caractères morphologiques incluant son type, sa tenue et sa forme, la forme de la crête, la couleur des yeux, des pattes, des oreillons, de la peau, du bec, etc. Il consiste également à prendre sur l'animal le poids et des mesures linéaires de certaines parties du corps telles que : la longueur du cou, de la jambe, du tarse, du ventre, du dos et du corps, le tour de poitrine, le diamètre des tarses, la hauteur du corps, la longueur du thorax, l'envergure, la longueur du bréchet, etc. Ce sont ces mesures qui lorsqu'elles sont traitées sur le plan statistique permettent d'établir des groupes nettement distincts l'un de l'autre (Berradi et al. 2003).

2.3.1.3. Caractérisation moléculaire

Les principaux développements récents en matière de génétique moléculaire ont fourni des outils nouveaux et puissants, appelés marqueurs moléculaires, pour évaluer les origines des espèces des animaux d'élevage et la distribution géographique de leur diversité. Les polymorphismes des protéines ont été les premiers marqueurs moléculaires utilisés dans l'élevage (FAO 2005). Un grand nombre d'études, surtout à partir de 1970, ont documenté la caractérisation du groupe sanguin et des systèmes d'allozymes. Cependant, le niveau de polymorphisme des protéines est souvent faible et, par conséquent, l'applicabilité générale du typage des protéines dans les études sur la diversité est réduite. Les polymorphismes basés sur l'ADN sont actuellement les marqueurs préférés pour les enquêtes moléculaires en matière de diversité génétique. Les marqueurs d'ADN polymorphiques indiquant les différents modèles d'hérédité mendélienne peuvent s'étudier dans presque toutes les principales espèces d'animaux d'élevage (FAO 2005). Les microsatellites autosomiques ont été isolés en grande quantité dans la plupart des espèces d'animaux d'élevage. Actuellement, il existe des listes recommandées, préparées par la FAO et la Société Internationale de Génétique Animale des marqueurs de microsatellites autosomiques pour les études en matière de diversité génétique.

La caractérisation moléculaire est la plus affinée et la plus intéressante. Elle utilise comme matériel des parties du corps de l'animal, la peau ou le sang. Ces parties appelées échantillons sont analysées au laboratoire pour déterminer des séquences de gènes ou des gènes. La

caractérisation des gènes exige le passage par certaines étapes que sont : l'extraction des ARN, le choix des amorces, l'amplification et la purification de l'ADNc, le clonage et le séquençage des produits et l'analyse des séquences. Les protéines peuvent être aussi caractérisées suivant une méthode qui passe par la solubilisation des tissus et la détection immunologique (Western blot). Grâce à cette forme de caractérisation on peut établir la filiation entre les différents types génétiques identifiés ou certifier de l'absence de filiation entre eux (Berradi et. 2003).

2.2. État des ressources génétiques animales

Les flux et reflux des ressources génétiques sont naturels au sein des écosystèmes et l'on peut supposer qu'au fil du temps, certaines races d'animaux domestiques, voire d'espèces, apparaîtront tandis que d'autres s'éteindront. Les activités humaines accélèrent toutefois la vitesse des changements au sein des ressources génétiques. Le développement humain a créé les races d'aujourd'hui, mais les tendances économiques et sociales actuelles peuvent les éroder très rapidement. Les modifications ou transformations environnementales que subissent les écosystèmes, dont celles engendrées par le réchauffement de la planète (Anderson 2004), ont un impact sur les ressources génétiques, ce qui est également vrai pour les guerres, les infestations de ravageurs, les flambées épidémiques et autres catastrophes naturelles.

En l'an 2000, plus de 6 300 races d'animaux d'élevage ont été recensées. Sur ce nombre, plus de 1 300 ont aujourd'hui disparu ou sont menacées d'extinction. Nombre d'entre elles n'ont pas été officiellement répertoriées et pourraient s'éteindre avant d'être consignées ou largement reconnues. C'est en Europe que le pourcentage de races disparues ou en voie de disparition est le plus fort (55 pour cent de mammifères et 69 pour cent d'espèces aviaires). En Asie et en Afrique, ces pourcentages ne sont respectivement que de 14 pour cent et 18 pour cent, mais les données de la *liste mondiale de surveillance pour la diversité des animaux domestiques* sont beaucoup moins détaillées pour les pays en développement que pour les pays développés. Selon la Banque de données mondiale pour les ressources génétiques des animaux d'élevage, 1 687 races sont classées dans la catégorie à risque. Ce nombre atteint 2255 pour les races sur lesquelles il n'existe pas de données de population. Les chiffres montrent une augmentation de 10 pour cent depuis 1995 et de 13 pour cent depuis 1993 (Scherf 2000).

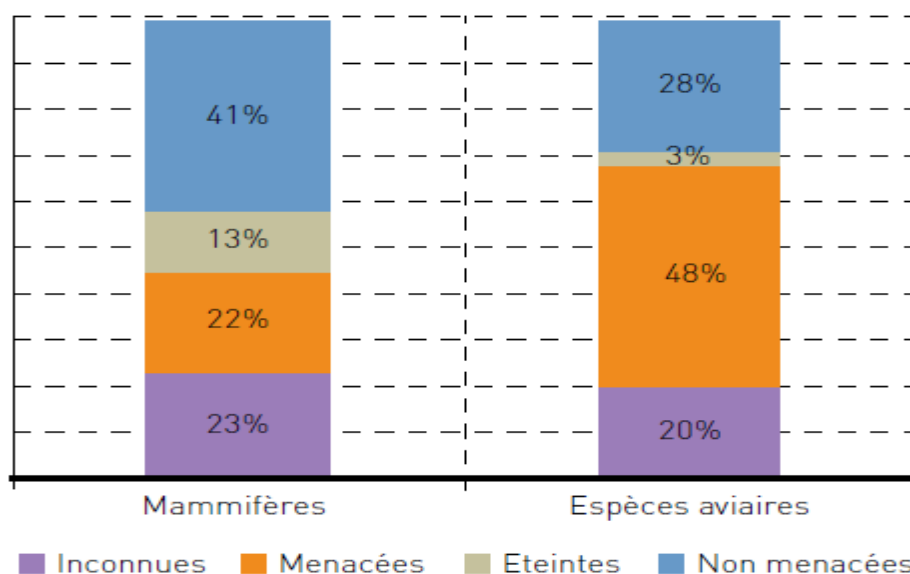


Figure 4: Etat des risques des races d'animaux domestiques dans le monde, Source: Liste mondiale de surveillance pour la diversité des animaux domestiques.

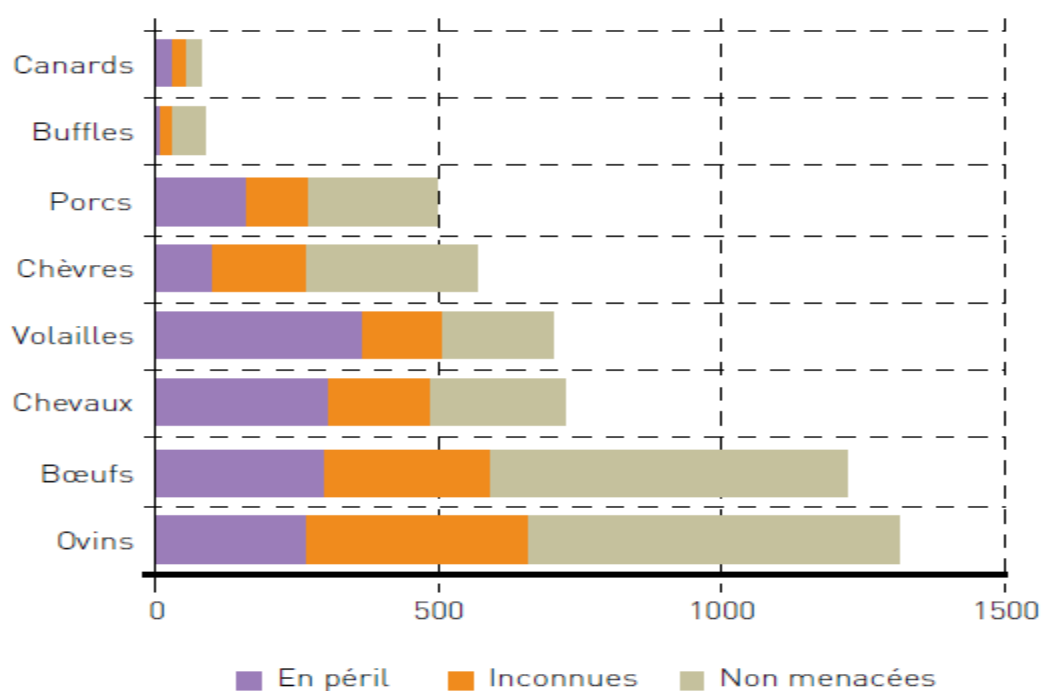


Figure 5: Races d'animaux domestiques menacées dans le monde, Source: Scherf (2000)

2.2.1. Perte des ressources génétiques animales et facteurs de risque

Le taux de perte des ressources génétiques animales est difficile à estimer. Outre les lacunes de connaissances relatives aux caractéristiques et à l'état de ces ressources, le manque de

normalisation des méthodologies de recensement des espèces (Ayalew et Rowlands 2004) et d'estimation des risques encourus par les populations (Scherf 2000) rendent toute évaluation difficile. Des races disparaissent dans le monde entier alors même que l'on ignore celles qui présentent une diversité génétique importante ou des gènes particuliers méritant d'être préservés et/ou intégrés dans les programmes de sélection. La perte des ressources génétiques est liée aux changements d'organisation des systèmes de production.

La diversité génétique est potentiellement menacée par plusieurs facteurs, dont les effets peuvent se ressentir de différentes manières – l'érosion des systèmes de production dont les ressources zoo génétiques forment une partie; la destruction physique des populations d'animaux d'élevage, ou la mise en place de réponses qui sont en soi des menaces. Les moteurs de l'érosion génétique sont aussi différents selon l'étendue des interventions politiques pouvant les influencer ou, s'ils ne peuvent se prévenir, selon les mesures pouvant se mettre en place pour diminuer leurs effets sur la diversité des ressources zoo génétiques.

Les auteurs se trouvent largement d'accord sur les évolutions et les facteurs généraux qui menacent les ressources zoo génétiques. Par exemple, Rege et Gibson (2003) considèrent l'utilisation de matériel génétique exotique, les changements des systèmes de production et des préférences des producteurs poussés par des facteurs socioéconomiques, et les catastrophes (sécheresse, famine, épidémies, troubles civils/conflits) comme les principales causes de l'érosion génétique. Tisdell (2003) mentionne les interventions en faveur du développement, la spécialisation (mise en évidence d'un seul caractère productif), l'introggression génétique, l'élaboration des technologies et des biotechnologies, l'instabilité politique et les catastrophes naturelles. Les analyses des menaces spécifiques auxquelles sont confrontées certaines races d'animaux d'élevage et les raisons ayant cause par le passé d'extinction sont toutefois assez rares. Pour les races menacées des bovins en Afrique, Rege (1999) mentionne, parmi les menaces, le remplacement par d'autres races, le croisement avec des races exotiques ou avec d'autres races indigènes, les conflits, la perte des habitats, la maladie, la négligence et le manque de programmes de sélection durables. Iniguez (2005) considère le déplacement suite à l'arrivée d'autres races et les croisements indiscriminés comme des menaces pour les races de petits ruminants en Asie de l'Ouest et en Afrique du Nord.

2.3. Aviculture familiale

Parallèlement à l'industrie avicole commerciale, des systèmes de production avicole à petite échelle présents dans les zones rurales, urbaines et péri-urbaines des pays en développement existent. On peut distinguer quatre grandes catégories de systèmes d'aviculture familiale: le petit élevage extensif en divagation, l'élevage extensif en divagation, l'élevage semi-intensif et le petit élevage intensif. Les indicateurs de production pour les différents systèmes sont résumés au tableau 3. Les conditions, les exigences et la performance de ces systèmes diffèrent largement, en raison du type de ressources génétiques utilisées; des pratiques d'alimentation; de la prévalence des maladies; de la prévention et du contrôle des maladies; de la gestion des troupeaux; et des interactions entre ces différents facteurs. L'aviculture familiale à petite échelle fait partie intégrante des moyens d'existence des ménages ruraux pauvres, et est susceptible de jouer ce rôle dans un avenir proche (FAO 2008a). Elle apporte une contribution importante à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté dans de nombreux pays à travers le monde (Dolberg 2008). L'aviculture familiale produit principalement de la nourriture pour la consommation domestique, sous la forme de viande ou d'œufs, et génère des revenus grâce à la vente de ces produits. Les œufs peuvent procurer un revenu régulier, quoique modeste. Alors que la vente d'oiseaux vivants procure une source de liquidités plus flexible adaptée aux besoins. En effet, les produits issus de l'aviculture familiale, en particulier des élevages de volaille en divagation dans les villages, sont souvent vendus à un prix plus élevé sur les marchés urbains, car ils sont considérés comme exempts d'antibiotiques et d'autres résidus. Les processus officiels pour certifier que ces oiseaux sont issus de la production « biologique » n'existent pas dans la plupart des pays, mais il existe de plus en plus de possibilités d'améliorer l'image de marque et le marketing de ces produits (FAO 2014). La volaille joue également un rôle social et culturel important dans la vie des populations rurales, notamment pour établir des relations avec les autres villageois (FAO 2010a).

L'incidence des maladies est souvent la principale cause de perte de poulets. Au Nigeria, les éleveurs ont révélé que les maladies les plus couramment rencontrées dans les élevages sont la pseudo peste aviaire (61%), les maladies respiratoires (14%), la variole aviaire (7%), la pullorose/diarrhée (7%) et le choléra (4%). En effet, ces épidémies affectent très négativement la structure du troupeau villageois et réduisent considérablement les revenus du fermier (Fosta 2008). Parmi les autres causes, peuvent être citées la prédation, le froid et la famine (Abubakar et al. 2007).

Tableau 3 : Caractéristiques des quatre différents systèmes d'aviculture familiale.

Critère	Petit élevage extensif en divagation	Élevage extensif en divagation	Semi-intensif	Intensif à petite échelle
Système de production/ d'élevage	Mixte, volailles et cultures, souvent sans terre,	Mixte, bétail et cultures	Généralement seulement la volaille	Seulement la volaille
Autres animaux élevés dans l'exploitation	Rarement	Généralement	Parfois	Non
Taille du troupeau (volailles adultes)	1-5	5-50	50-200	>200 poulets de chair > 100 poules pondeuses
Races de volaille	Locale	Locale ou croisée	Commerciale ou croisée ou locale	Commerciale
Source de nouveaux poussins	Incubation naturelle	Incubation naturelle	Poussins d'un jour commerciaux ou incubation naturelle	Poussins d'un jour commerciaux ou Poulettes
Source d'alimentation	En divagation ; Presque pas de supplémentation	En divagation ; supplémentation occasionnelle	En divagation, supplémentation Régulière	Ration équilibré commerciale
Logement des volailles	Rare ; généralement construit avec les matériaux locaux ou gardées dans la maison	Parfois ; généralement construit avec les matériaux locaux	Oui ; matériaux conventionnels, logements en qualité variable	Oui ; matériaux conventionnels, logements de bonne qualité
Accès aux services vétérinaires et aux produits pharmaceutiques vétérinaires	Rarement	Parfois	Oui	Oui
Mortalité	Très élevée >70%	Très élevée >70%	Moyenne à élevée 20% -50%	Faible à moyenne < 20%
Accès à l'approvisionnement fiable en électricité	Non	Non	Oui	Oui
Existence de la chaîne du froid	Non	Rarement	Oui	Oui
Accès aux marchés urbains	Rarement	Rarement ou indirectement	Oui	Oui
Produits	Oiseaux vivants, viande	Oiseaux vivants, viande, œufs	Oiseaux vivants, viande, œufs	Oiseaux vivants, viande, œufs
Temps consacré chaque jour à la gestion de l'élevage	< 30 minutes	< 1 heure	>1 heure	>1 heure

Par ailleurs, l'accélération du rythme d'urbanisation et l'évolution des modes de vie, en particulier chez les jeunes, constituent une menace potentielle pour le rôle et la contribution de l'aviculture familiale aux moyens d'existence. Dans ce contexte, le développement de

l'aviculture familiale peut être basé sur une approche plus commerciale en mettant notamment en œuvre des activités de coopération et de micro-financement. Le changement climatique est également une menace potentielle, en particulier en ce qui concerne la disponibilité future de la base des aliments résiduels picorables. Les pays en développement doivent concentrer leurs efforts d'atténuation des risques sur l'étude des impacts possibles du changement climatique sur l'aviculture familiale, la recherche de nouvelles ressources alimentaires et le développement de nouvelles techniques d'alimentation. L'aviculture familiale est également menacée par l'existence de systèmes de production avicole commerciaux dans les mêmes zones et les mêmes circuits d'approvisionnement. Par exemple, au cours de l'épidémie d'influenza aviaire hautement pathogène, beaucoup d'élevages de volailles familiaux ont été considérés comme une source du virus et ont été détruits.

Cependant, dans certains pays la préférence marquée des consommateurs pour les volailles issues de l'aviculture familiale limite le marché des volailles commerciales chez certains consommateurs. D'un point de vue positif, les progrès réalisés dans les systèmes commerciaux bénéficient aussi aux systèmes familiaux et la qualification « bio ou organique » de l'aviculture familiale peut rendre les volailles issues d'élevages commerciaux plus acceptables aux yeux des consommateurs. La tension entre les deux systèmes ne disparaîtra peut-être pas, mais elle peut aussi être bénéfique à leur développement (FAO 2014).

CHAPITRE 3.
LES EFFETS DE LA CHALEUR SUR LES
PERFORMANCES DU POULET

CHAPITRE 3. EFFETS DE LA CHALEUR SUR LES PERFORMANCES DES VOLAILLES

3.1. Stress thermique et mécanismes de thermorégulation chez le poulet

3.1.1. Le stress thermique

Dans les élevages de poulets, on parle de température chaude au-delà de 25°C (Mérat 1990), et de température froide en dessous de 20°C en moyenne, l'optimum se situant la plupart du temps entre 22°C et 25°C. Les oiseaux ont en général une température corporelle plus élevée que les mammifères (41 à 42°C pour un coq adulte), cette température doit en principe leur conférer une résistance plus grande à la chaleur en élevage mais c'est le contraire qui est observé (N'Dri 2006).

Une exposition prolongée à une température élevée, le plus souvent pendant la période du Mai à Septembre entraînent chez les animaux un état de stress thermique chronique ayant pour conséquence principale une baisse des performances. De plus, le passage de vents chauds (siroccos) aux mois de juillet et d'août aggrave cette situation puisqu'il soumet les poulets particulièrement en fin d'élevage, à un fort stress thermique aigu qui entraîne d'importantes mortalités (60 à 80 %) (Boudouma et Tefiel 2012). Les coups de chaleur sont généralement difficiles à prévoir d'après les informations météorologiques, mais ils surviennent quand les températures sont élevées (32 °C) pendant de longues périodes (> 6 heures) ou très élevées (36 °C) pendant des périodes plus courtes (> 2 heures) (De Basilio 2002 cité par Pérez et al 2006).

3.1.2. La thermorégulation chez le poulet

La régulation thermique ou thermorégulation est la fonction physiologique qui permet de maintenir la température interne dans des limites physiologiques étroites (homéothermie) (Mandonnet et al. 2011). Il s'agit de l'équilibre entre la production de chaleur (thermogénèse) et les pertes de chaleur (thermolyse). Il existe une zone dite de « neutralité thermique » dans laquelle les volailles vivent parfaitement à l'aise sans qu'il leur soit nécessaire de mettre en fonctionnement un quelconque mécanisme pour régler leur température en fonction de celle de l'environnement extérieur (Castello 1990). Pour le poussin d'un jour, cette zone est selon

le même auteur très serrée « limitée entre 33,5 à 35,5°C » tandis que chez le poulet adulte, elle se situe autour de 20°C (Valancony 1997).

Lorsque les mécanismes de thermorégulation n'arrivent pas à maintenir des conditions de température centrale normale (normothermie), on parle soit d'hypothermie lorsque la température centrale est trop basse, soit d'hyperthermie lorsque la température centrale est trop élevée (N'Dri 2006).

Les différents mécanismes de thermolyse peuvent être répartis en deux ensembles que sont les pertes sensibles (chaleur qui augmente la température ambiante) dont font partie les pertes par convection, conduction et rayonnement, d'une part, et les pertes insensibles (n'entraînent pas le réchauffement du milieu) dues à l'évaporation et à l'excrétion par les fientes, d'autre part (Ciewe Ciake 2006).

Les pertes de chaleur par la voie sensible dépendent de la surface d'échange et de la conductivité thermique de la peau. La conductance thermique dépend de l'isolation corporelle, mais également de la capacité de l'organisme à rediriger le sang des organes internes vers la périphérie (Renaudeau et al. 2004). Par conséquent, les pertes de chaleur des oiseaux sont limitées par l'importance et l'efficacité d'isolation thermique du plumage (Geraert 1995). De plus, le poulet étant dépourvu de glandes sudoripares est incapable de dégager la chaleur par évaporation (sudation). Il est important de souligner qu'une élévation de l'humidité relative de l'air (Hygrométrie) réduit la capacité de l'animal à dégager la chaleur et accroît donc la sensation de stress thermique.

L'élimination de chaleur par ces trois mécanismes (conduction, convection et radiation) est, par contre, favorisée par l'intervention d'un ensemble de réactions végétatives et comportementales: augmentation de la fréquence cardiaque, dilatation des vaisseaux au niveau de la peau et des zones d'échanges privilégiées car dépourvues de plumes isolantes (les pattes, la crête, les barbillons...), recherche de zones froides et ventilées, écartement des ailes pour augmenter la surface d'échange et présenter des zones moins emplumées (Bottje et al. 1983 ; Le Ménec 1987 cité par Valancony 1997)

Au fil de l'évolution et de la sélection naturelle, certaines espèces ou populations ont déplacé leur zone de confort en développant des particularités anatomiques facilitant les pertes de chaleur (Mandonnet et al. 2011). Ainsi, la zone de confort thermique du poulet est une combinaison des variables suivantes : âge, régime alimentaire, poids, descendance génétique,

stade physiologique, densité animale, plumage, taux d'activité, température, humidité relative, vitesse de l'air, intensité lumineuse (Chepete et Xin 2001 ; Jurkschat et al.1986 ; Burmeister et al. 1986 ; Richards 1977 cités par Lachance 2005 ; Mandonnet et al. 2011).

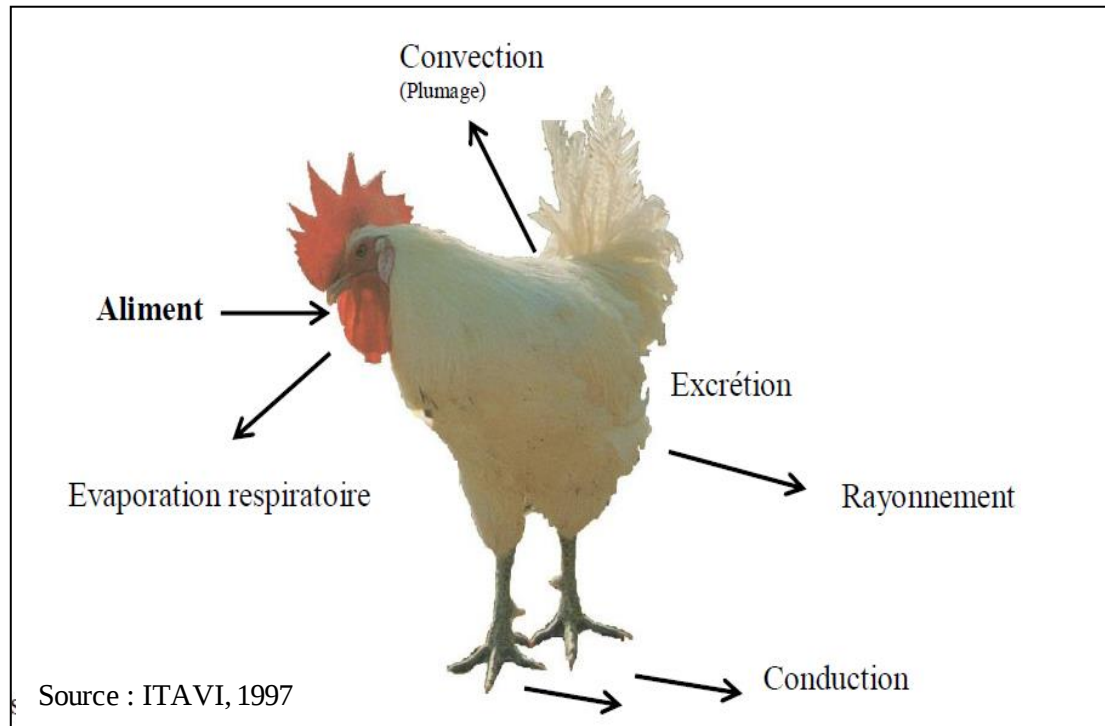


Figure 6: Principaux modes de transfert de chaleur entre l'animal et l'ambiance

3.2. Les effets de la chaleur

La chute de la productivité lors de l'exposition au chaud est inévitable et représente un manque à gagner considérable dans les élevages. En effet, l'animal homéotherme diminue son ingestion alimentaire quand il fait chaud et humide et l'augmente quand il fait froid, alors que le poïkilotherme l'augmente jusqu'à la limite supérieure de ses préférences thermiques (niveau au-delà duquel l'ingestion diminue alors fortement) (Phocas et al. 2014). Chez tous les oiseaux, la diminution du métabolisme de base, de l'utilisation digestive des aliments et l'alcalose respiratoire entraînent une diminution du gain de poids quotidien, associée à une immunodépression les rendant plus sensibles aux autres agressions (Thioufe Thioune 2012). Dans une menée sur le coq local, Allouche et al. (2016) ont rapporté que la tendance des animaux à diminuer leur ingéré alimentaire ne les expose pas au danger d'une sous alimentation, surtout que le coq local (une volaille rustique) aurait une capacité d'adaptation comportementale et physiologique qui permettrait de tirer le maximum du potentiel de l'aliment en fonction de ses besoins. En revanche, l'augmentation de leur besoin en eau

d'abreuvement les expose au risque d'une restriction hydrique et ses répercussions, notamment sur l'ingestion alimentaire et la thermorégulation.

Selon Tesseraud et Temim (1999) le contexte hormonal est profondément modifié par l'exposition à une température élevée : diminution de la concentration de T_3 , augmentation de la corticostéronémie et, probablement, résistance à l'insuline. Toutes ces modifications sont en général reliées à une augmentation de l'engraissement et à une diminution du dépôt protéique selon ses mêmes auteurs.

Chez les poules pondeuses, par ailleurs, plusieurs auteurs rapportent que la chaleur entraîne une diminution des performances de ponte et de la qualité des œufs (Robbert et Ball 1998 ; Deaton et al. 1982 ; Oguntunji et Alabi 2010 ; Kilic et Simsek 2013 ; Lucas et Rostagno 2013 ; Feizi et al. 2012 cité par Durmus et Kamanli 2015). Banga-Mboko et al. (2003) rapportent 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 et 51 % pour la longueur des séries de ponte. Dans une autre étude, Star et al. (2008) ont constaté chez les pondeuses soumises à un stress thermique une chute de 36.4% de la production d'œufs. Par ailleurs, Durmus et Kamanli (2015) ont constaté un effet défavorable de la chaleur sur le poids de l'œuf, la qualité de la coquille et la couleur du vitellus. Robert et Ball (1998) ont constaté un effet dépressif de la chaleur sur le poids, l'épaisseur et la couleur de la coquille et sur les unités d'Haugh, indicateur de la fraîcheur des œufs. L'effet sur la résistance de la coquille ainsi que la couleur du vitellus n'a pas été significatif. Les divergences constatées entre les auteurs peuvent être en partie attribuables aux facteurs liés au génotype, l'âge des animaux, le type de traitement thermique appliqué (intensité et durée).

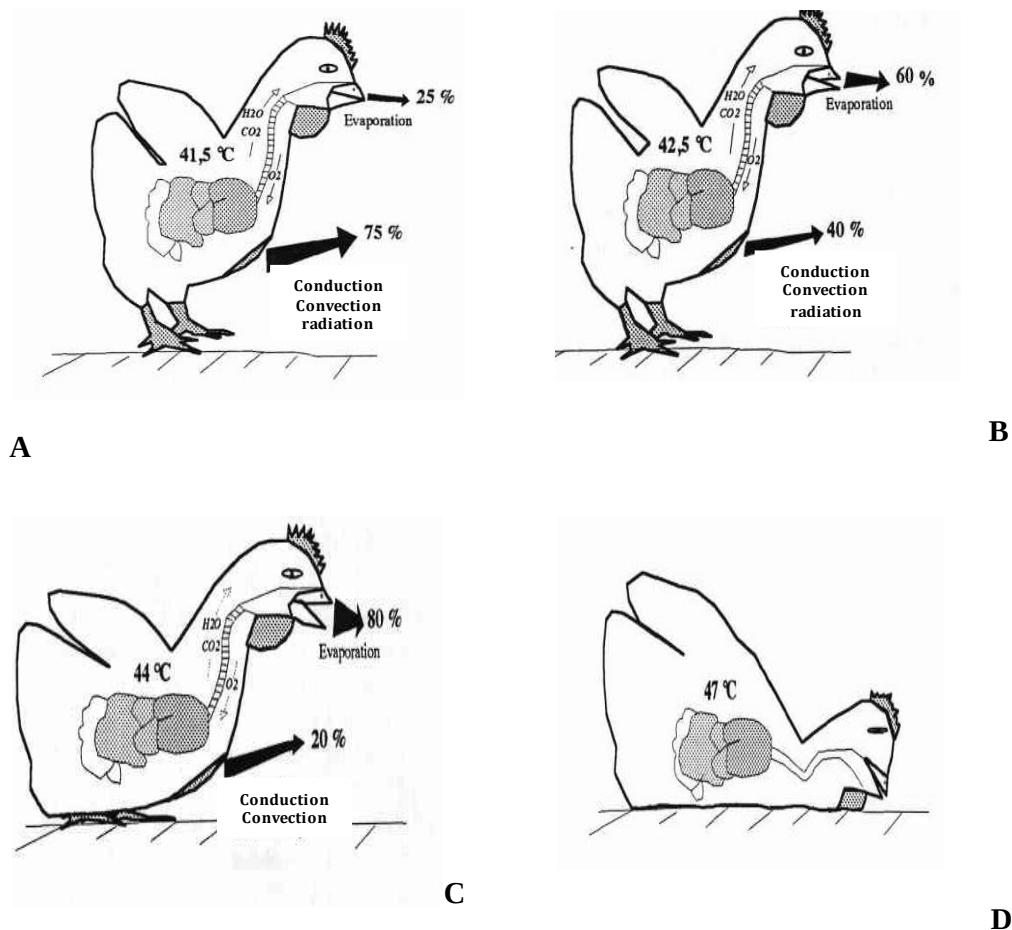


Figure 7. (A) Equilibre thermique : 25 inspirations/minute; (B) Augmentation de la T° : Rythme respiratoire augmenté; (C) Limite de résistance : 200 inspiration/ minute (D). Mortalité par hyperthermie (Valancony 1997).

3.3. Stratégies pour réduire les effets négatifs de la chaleur

Pour pallier aux effets néfastes de la chaleur ambiante sur les produits avicoles, différentes mesures ont été préconisées en fonction du type de stress thermique considéré (aigu ou chronique) (Thioufe Thioune 2012). Dans le premier cas, les solutions sont essentiellement techniques, elles visent à écrêter les pics de température par des systèmes de refroidissement (Franck et coll. 1993). Des techniques complémentaires telles que la mise à jeun, une bonne

gestion de l'abreuvement, une limitation du chargement permettent également d'accroître de façon significative la résistance des animaux (Valancony 1997).

Cependant, lors d'exposition chronique à la chaleur, différentes stratégies génétiques (croisement avec des poulets sélectionnés pour un génotype thermotolérant) ou alimentaires (alimentation alternée...) peuvent être mises en œuvre pour améliorer la tolérance des oiseaux à des variations de conditions thermiques (Collin et al. 2011). En effet, des travaux de nature plus analytique ont également été conduits afin de mieux préciser les déterminants physiologiques de la réponse des animaux et leurs capacités d'adaptation à court ou à long terme (Soussana 2013), tels les mécanismes de conditionnement précoce à la chaleur (post et périnatal) chez le poulet de chair (Collin et al. 2011).

3.3.1. Acclimatation et conditionnement thermique

3.1.1.1. Acclimatation postnatale à la chaleur

Arjona et coll (1988) cité par De Basilio et al. (2001) proposent une technique d'acclimatation précoce des poussins dès le jeune âge pour renforcer leur résistance ultérieure à des périodes de chaleur excessive. Il s'agit de soumettre des poussins de cinq jours d'âge à des températures variant, selon les auteurs, de 36 à 38 °C pendant 24 heures. Cette technique limite l'élévation de la température interne des poulets de chair lors d'un coup de chaleur ultérieur (à 35 ou 42 j) et peut diminuer la mortalité jusqu'à 50% (Collin et al. 2011).

3.1.1.2. Acclimatation périnatale à la chaleur

Les manipulations thermiques (MT) pendant l'embryogénèse permettent également d'augmenter la tolérance des poulets de chair à la chaleur aigüe. Ces MT consistent à augmenter de façon cyclique la température des incubateurs à 39,5°C et 65% HR des jours 7 à 16 de l'embryogénèse (Loyau et al. 2015). Pour que l'acclimatation embryonnaire soit efficace, elle doit coïncider avec le moment où les mécanismes régissant la thermorégulation sont activés (Collin et al. 2011). Ces derniers sont régulés notamment par les axes hypothalamo-hypophysothyroïdien et hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien (Yahav et Hurwitz ; Yahav et Plavnik ; Yahav et McMurtry cités par Collin et al. 2011).

3.1.1.3. Gènes majeurs d'adaptation à la chaleur

Les pertes de chaleur par la voie sensible (conduction, radiation, convection) dépendent de la surface d'échange et de la conductivité thermique de la peau. La conductance thermique

dépend de l'isolation corporelle, mais également de la capacité de l'organisme à rediriger le sang des organes internes vers la périphérie (Renaudeau et al. 2004). Etant donné l'efficacité d'isolation thermique de leur plumage, les oiseaux élevés en conditions chaudes doivent réduire leur consommation alimentaire pour minimiser leur production de chaleur. L'objectif du sélectionneur qui désire améliorer la résistance aux températures d'élevage élevées va donc être soit d'accroître les déperditions caloriques soit de réduire la production de chaleur soit encore de combiner les deux (Geraert 1995).

Dans les pays à climat chaud' il existe des sources locales particulièrement bien adaptées aux températures élevées. L'amélioration de la capacité de l'animal à dissiper la chaleur peut en effet, être envisagée par l'utilisation de certains gènes majeurs présents dans ces populations locales. Ces gènes sont particulièrement impliqués dans le déterminisme de l'emplumement, tels que les gènes cou nu (Na), frisé (F), sans écaille (Sc) et le gène du nanisme (Dw) (Zerjal et al. 2013 ; Younis et Cahaner 1999 ; Oguntunji et Alabi 2010). D'autres gènes majeurs peuvent également se manifester intéressants en climat chaud comme le plumage soyeux (H) (Horst, 1988) et l'emplumement lent (K) (Dessie 2003).

Tableau 4 : Gènes majeurs intéressants en climat chaud (Gearert 1995).

Gène		Mode de transmission	Effet	
			Direct	Indirect
Dw	Dwarf (nanisme)	Récessif, lié au sexe Allèles multiples	Réduction de taille (10 à 30%)	Réduction du besoin d'entretien et du métabolisme basal
Na	Naked neck (Cou nu)	Dominant incomplet	Perte des plumes du cou, Modification des plumes	Augmentation des pertes de chaleur par conduction et convection
F	Frizzle (Frisé)	Dominant incomplet	Plumes recourbés, Réduction de l'emplumement	Augmentation des pertes de chaleur par convection
K	Slow feathering (emplumement lent)	Dominant, lié au sexe, Allèles multiples	Retard d'emplumement	Augmentation des pertes sensibles
H	Silky (soie)	Récessif	Modification des plumes	Augmentation des pertes par convection

En outre, l'amélioration de la capacité de l'animal à dissiper la chaleur peut être obtenue par l'augmentation de la taille des zones de dissipation de chaleur, c'est-à-dire les zones non

emplumées. On peut donc envisager la sélection des animaux présentant de plus grandes surfaces de dissipation de chaleur sur des critères simples tels que la longueur des pattes (Phocas et al. 2015). En effet, les poulets White Leghorn (souche ponte) apparaissent plus tolérants à la chaleur que les autres souches commerciales et ceci pourrait s'expliquer par leur masse corporelle plus faible et leurs appendices, crêtes et barbillons, plus développés (MacLeod 1984 cité par Gearet 1991). Notons qu'en plus de l'effet sur le plumage, l'augmentation de la taille des barbillons (et corrélativement de la crête) apportée par le gène Na peut aussi constituer un élément favorable en ambiance chaude, si l'on se réfère au rôle relativement important de ces organes non emplumés dans les processus de thermorégulation (Sturkie 1976).

Par ailleurs, la sélection sur des caractères liés à la température corporelle est encore difficile à l'heure actuelle, car la mesure est peu précise. Le développement d'outils de thermographie infrarouge devrait permettre d'améliorer la précision et la rapidité de la mesure dans les années à venir (Loyau et al. 2013, 2015).

3.4. La thermographie infrarouge (TIR) : Outil révélateur du stress thermique

3.4.1. Définition et origine

L'association française de normalisation (AFNOR) définit la thermographie infrarouge (TIR) comme une « technique permettant d'obtenir, au moyen d'un appareillage approprié, l'image thermique d'une scène thermique observée dans un domaine spectral de l'infrarouge ». De façon plus didactique : la thermographie est une technique d'enregistrement graphique des températures de divers points d'un corps par détection du rayonnement infrarouge qu'il émet (Museux 2010).

La thermographie doit son origine à l'astronome allemand Sir William Herschel qui, en 1800, réalisa des expériences avec la lumière du soleil. La seconde guerre mondiale fut à l'origine d'un bond dans la technologie de la thermographie qui se concrétisa notamment par le développement de l'équipement actuel en thermographie médicale (Spruyt et al. 1995).

3.4.2. Principe général de la TIR

Le principe de la TIR repose sur le phénomène physique selon lequel chaque tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu (0 Kelvin) émet un rayonnement électromagnétique (Brelaz 2011). Le spectre électromagnétique est en effet souvent divisé

artificiellement en gammes de longueur d'onde : ondes gamma, X, ultra-violet, visible, infrarouge, radio. Nous pouvons noter que le domaine visible s'étend de 0,4 à 0,8 μm et la bande infrarouge de 0,8 à 1000 μm (Fillit 2011).

3.4.2.1. Le spectre infrarouge

L'énergie infrarouge est une fraction du rayonnement appelé spectre électromagnétique. Le spectre électromagnétique contient les rayons gamma, les rayons X, l'ultraviolet, le visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio (figure). Les caméras thermiques vont mesurer une radiation R (W/m^2) et la transformer en température (K) grâce à la loi de Stefan Boltzmann (Durozey 2014). La visualisation de la surface observée peut alors se présenter sous la forme d'un thermogramme (Mindeguia et al. 2012). Il est bien évidemment que l'observation est d'autant plus intéressante que le système caméra est capable de discriminer des écarts de température faibles (Chaffar 2012)

$$R = \varepsilon \sigma T^4$$

avec :

ε = émissivité de la surface : capacité d'une surface à émettre et absorber des rayons (0,96 ; 0,98 à 1,0 pour un corps animal en général).

σ = constante de Stefan Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2/\text{K}^4$.

T = Température (K).

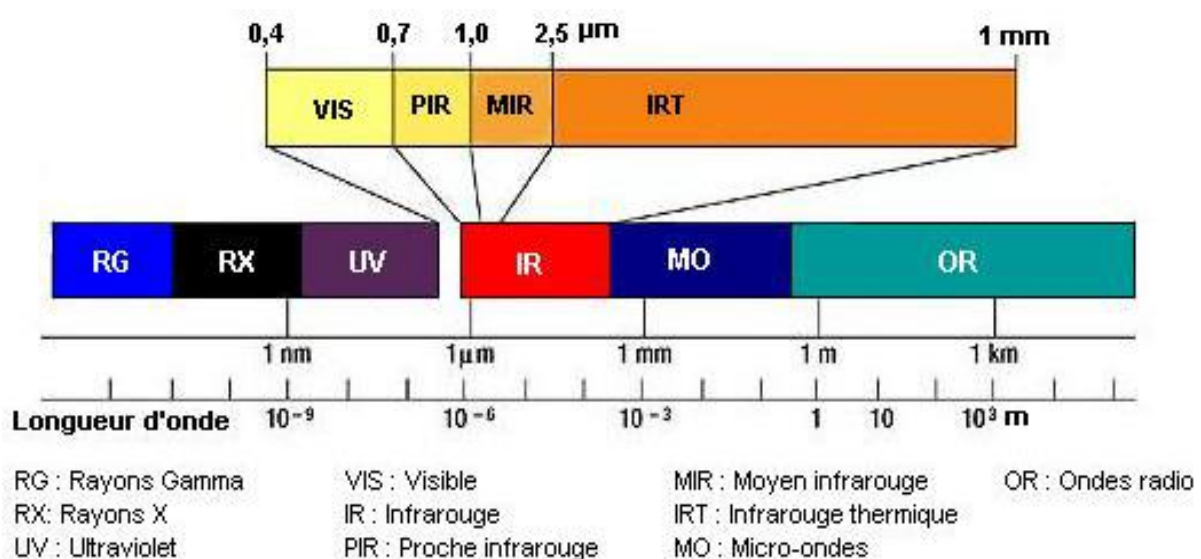


Figure 8. Spectre électromagnétique en fonction de la longueur d'onde du rayonnement.
(<http://www.solarproducts.com>).

3.4.3. Domaines d'applications de la TIR

La thermographie infrarouge a fait ses preuves en tant qu'outil précieux pour résoudre un large éventail de questions scientifiques. Grâce à leur capacité d'analyse non destructive, les systèmes thermographiques sont des instruments importants pour répondre à une grande variété d'applications de Recherche et Développement (FLIR system, www.flir.com).

Le domaine militaire est le premier à employer la thermographie infrarouge pour la détection de cibles. Mais elle est aussi employée dans de nombreux domaines tels que la médecine, la géologie ou le génie civil (Kuhn 2013).

Son utilisation comme outil complémentaire de diagnostic, pour aider à détecter les personnes fiévreuses, peut limiter la contagion des maladies virales, comme la grippe aviaire ou porcine, et bactériennes comme le SRAS (FLIR system). Dans le milieu vétérinaire, les premières utilisations datent d'environ 45 ans, initialement limitées aux universités et cliniques de référence, on s'en sert aujourd'hui davantage, principalement dans le monde équin (Thierry 2013) et plus précisément le domaine de l'orthopédie notamment pour la recherche de maladies naviculaires, de tendinites, et pour le dépistage de certaines techniques de dopage (Martin 2010). Par ailleurs, dans le domaine des infrastructures routières, la thermographie occupe aujourd'hui une place sans cesse croissante. L'auscultation d'ouvrages d'art par thermographie infrarouge s'est développée et la prévention du risque hivernal a profité aussi des progrès de cette technique d'investigation (Monchau 2013).



Figure 9. Caméra infrarouge de type Fluke.

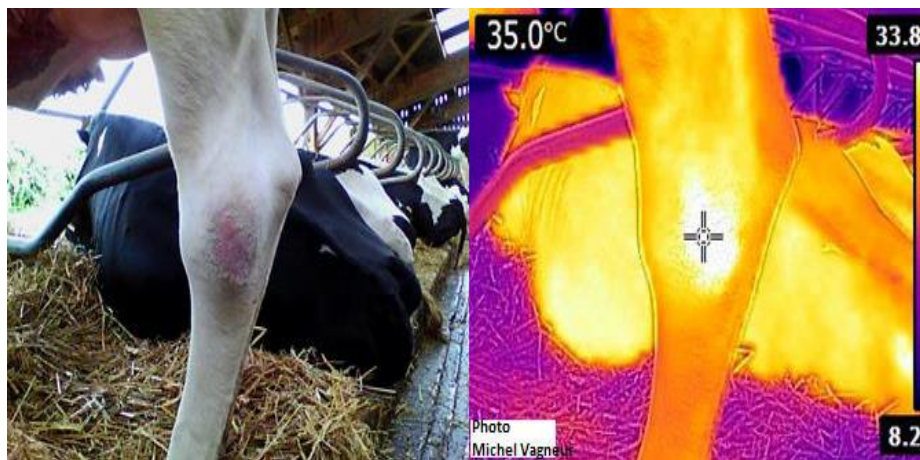


Figure 10. Evaluation d'une tarsite : La zone enflammée est parfaitement visible.
(Source : Dr Michel Vagneur)

De nombreuses études ont porté sur le rôle de l'imagerie infrarouge au sein de l'industrie laitière. L'un des problèmes économique et éthique majeurs dans cet élevage reste la présence de mammites : celles-ci sont en routine diagnostiquées par analyse du lait et comptabilité du nombre de cellules somatiques qu'il contient. Kennedy et al. (2003) ont conclu que la thermographie infrarouge constitue une technique prometteuse de détection précoce de la mammite lorsqu'elle est associée au contrôle de la température ambiante. La technologie infrarouge permet de détecter les changements de température associés à l'état

physiologique avant l'abattage et pourrait s'avérer utile pour prédire la variation de la qualité de la viande dans les conditions commerciales (Weschenfelder et al. 2013). Pour la sélection génétique, cet outil peut aider à améliorer l'efficacité alimentaire, ce qui permettrait de réduire les coûts d'alimentation et de diminuer la quantité de déjections produites (Ricard et al. 2014).

3.4.4. Applications de la TIR dans le secteur avicole

La TIR présente un certain nombre d'avantages dans le domaine aviaire. Elle est principalement utilisée pour recenser les points critiques de déperdition de chaleur dans les bâtiments avicoles (perte de chaleur que subit un bâtiment par ses parois et ses échanges de fluide avec l'extérieur), de sensibiliser les éleveurs quant à l'état vieillissant de leurs bâtiments et de montrer l'importance de la qualité de l'étanchéité et de l'isolation pour réduire la consommation de gaz pour le chauffage (Geoffrey 2013). Environ 70% des déperditions calorifiques s'effectuent par convection via le plafond (FACW, 2012). L'interprétation des résultats obtenus par l'imagerie thermique permet d'améliorer le confort thermique des oiseaux en adaptant le chauffage et la ventilation dans le bâtiment (Brelaz 2011).

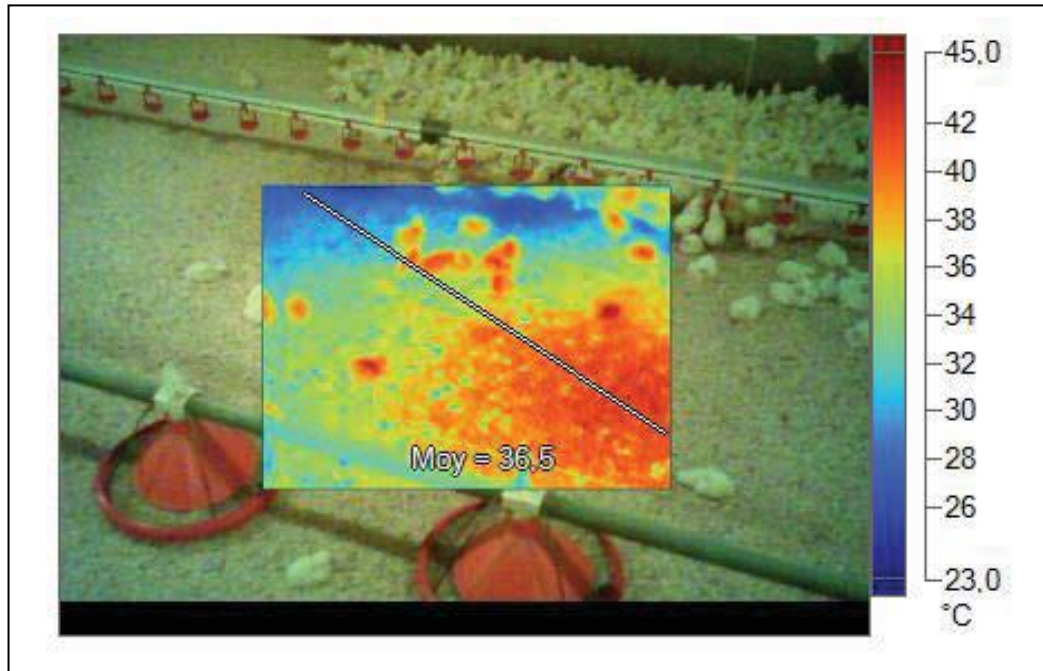


Figure 11. Thermogramme sous un radiant dans un bâtiment de poulets standards au démarrage (Clinique aviaire et porcine, ENVT).

La TIR semble avoir par ailleurs, une utilité directe lors d'observation des animaux pour éventuellement mettre en évidence des phénomènes inflammatoires sous cutanés tels que la cellulite (même si le plumage des animaux représente souvent une limite majeure à ce genre d'étude) et au niveau des zones dépourvues de plumes, comme les pattes (Martin 2010). Des recherches ont été menées il y a quelques années pour étudier les possibilités d'utiliser la TIR comme mode d'évaluation du niveau de guérison de l'ombilic chez les poulets à griller, et comme outil de dépistage précoce de certaines maladies des volailles comme la laryngotrachéite (Agriculture and Agri-Food Canada 2006).

SECONDE PARTIE.
ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.

CHAPITRE 1.

DISPOSITIFS, MATERIEL, ANALYSES

ET METHODES

CHAPITRE 1. DISPOSITIFS, MATERIEL, ANALYSES ET METHODES

1.1. INVENTAIRE DES PHENOTYPES DE POULES LOCALES

1.1.1. Présentation des zones d'étude

Cette étude consiste à une enquête de terrain menée dans trois wilayas (Mascara, Mostaganem et Relizane) situées dans La zone du Nords-Ouest algérien entre la méditerranée et l'Atlas Saharien. Cette zone est caractérisée par différentes caractéristiques dues à l'effet de certains facteurs topographiques (latitude, distance et altitude par rapport au niveau de la mer) sur le climat et les processus géomorphologiques et pédologiques. La wilaya de Mostaganem (région littorale) localisée à 35°55'52" N et 0°05'21" E, à une altitude d'environ 85 mètres avec une superficie de 2269 km² est caractérisée par un climat méditerranéen. La Wilaya de Relizane (région de plaines) est localisée à 35°44'00" N et 0°33'00" E à une altitude de 139 mètres avec une superficie de 4851 km² et caractérisée par un climat semi-aride. Quant à Mascara (région montagneuse), celle-ci est localisée à 35°23'47" N 0°08'24" E, à une altitude d'environ 600 m, elle a une superficie de 5135 km². Le climat dans cette région est semi-aride. Les températures moyennes annuelles et les précipitations sont de l'ordre de 17,9 °C et 347 mm à Mostaganem, 16,7 °C et 347 mm à Mascara et 18,3 °C et 349 mm à Relizane. La différence entre les températures maximales dans les trois régions varie en moyenne entre 3,4 et 4,1 °C.

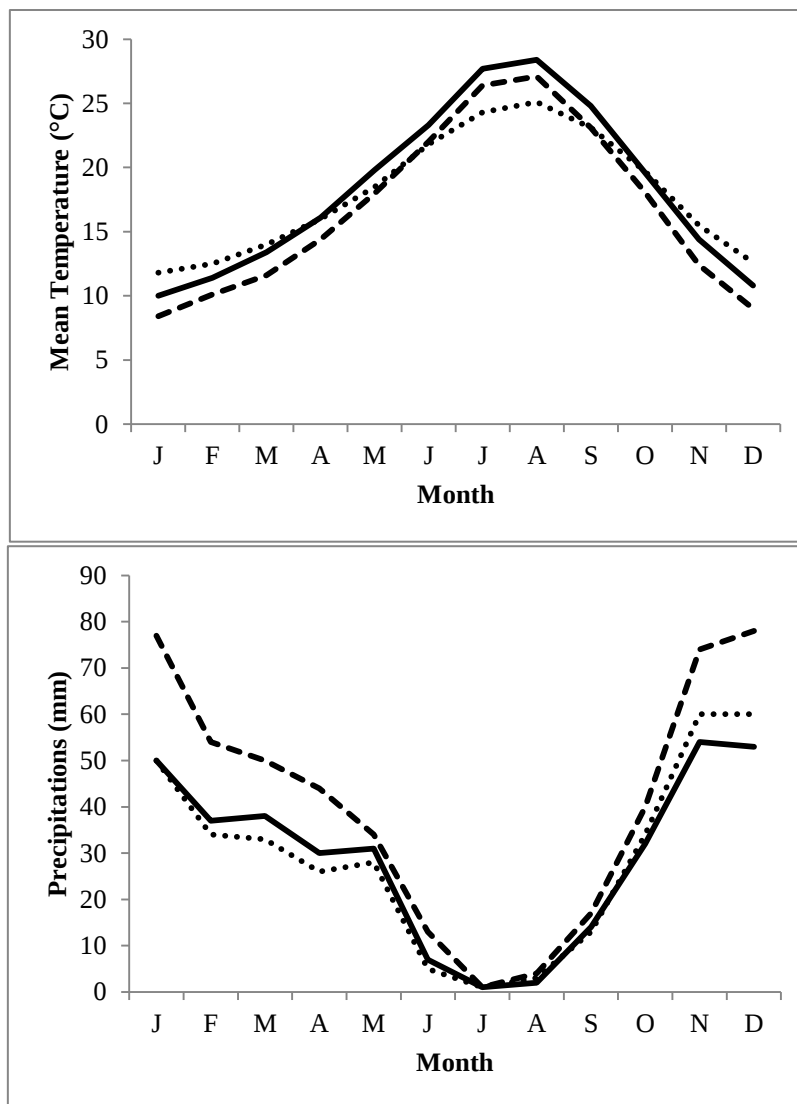


Figure 12. Données climatiques des trois régions étudiées : Mostaganem (courbe en pointillé), Mascara (courbe discontinue) et Relizane (courbe continue). Source : [website fr.climate-data.org](http://website.fr.climate-data.org)

1.1.2. Animaux et conditions d'élevage

L'enquête a été menée dans 18 communes selon la répartition suivante : **1/** Ain Nouissy, Bouguirat, Fornaka, Hadjaj, Oued El Kheir and Sayada dans la wilaya de Mostaganem. **2/** El-Beniane, Bouhnifia, El-Bordj, El- Ghomri, Ghriss et Tighennif dans la région de Mascara. **3/** Ami Moussa, Mazouna, Oued El Djemâa, Oued Rhiau, Yellel and Zemmoura dans la région de Relizane. Dans chaque commune, trois villages suffisamment éloignés de la zone urbaine ont été choisis afin de mieux cerner le système d'élevage typiquement rural en minimisant les interférences avec les élevages industriels dans les zones urbaines et périurbaines (Desta et al. 2013).

Au total, 1552 poulets adultes (1143 femelles et 409 mâles) âgés de ~5 à 7 mois ont choisis auprès de 180 familles rurales. Les données ont été collectées pendant la période Avril 2012 - Mai 2013. Les animaux sont élevés selon un système traditionnel de divagation. Pendant le jour, les animaux maintenus en liberté, cherchent leurs nourritures aux alentours des ménages. Pratiquement, tous les fermiers donnent des suppléments alimentaires à leurs oiseaux pendant toute l'année. Les habitats des volailles lorsqu'ils existent sont généralement rudimentaires, construits dans la plupart du temps avec du bois et du plastique et n'offrent pas suffisamment de protection contre le froid et les prédateurs pendant la nuit.

1.1.3. Méthodes de collecte des données

Les poules et coqs adultes ont été minutieusement observés pour un certain nombre de caractères phénotypiques incluant la couleur, la distribution (Cou nu, targes emplumées, tête huppée) et la structure du plumage (plumage frisé), le type de la crête (simple, en rose, en pois) ainsi que d'autres caractères de coloris pour certaines parties du corps de l'animal (targes, crête, œil, barbillons et oreillon) selon la description recommandée (FAO, 2012). Les animaux ont été également observés pour déterminer certains phénotypes relevant de l'effet des gènes majeurs, notamment ceux impliqués dans la résistance à la chaleur tels les phénotypes cou nu (Na/na), frisé (F/f), targes emplumées (Pti/pti), crête en rose (R/r) et tête huppée (Cr/cr). Des photographies individuelles ont été prises sur chaque animal.

Pour les paramètres quantitatifs, sur 778 animaux adultes (322 mâles et 456 femelles), nous avons mesuré : la longueur du corps, l'envergure, la longueur du tarse droit, le pourtour du tarse droit, la longueur du bec, la longueur du barbillon et la hauteur de la crête. D'autres mensurations telle que la largeur du bréchet, la longueur du cou, la longueur de l'aile droite et la longueur de sa troisième rémige ont été également réalisées.

Trente animaux de 8 à 10 mois d'âge ont ensuite été abattus et éviscérés de façon à obtenir le poids de la carcasse pleine, le poids des abats consommables (foie, cœur, gésier) et le poids des intestins. Les rendements ont ensuite été exprimés en pourcentages du poids vif. La composition anatomique des poulets locaux a été comparée à celle des poulets commerciaux à 56 jours d'âge.

La caractérisation morpho-biométrique a été effectuée à l'aide d'un mètre-ruban et un pied à coulisse. Les animaux adultes ont été pesés à l'aide d'une balance digitale de 5 kg pour déterminer le poids vif et le poids de la carcasse.

Les œufs de poules locales ont été, par ailleurs, récoltés au cours de nos sorties, ils ont été pesés et mesurés en laboratoire pour leurs caractéristiques morpho-pondérales. Cette enquête devait évidemment nous permettre de rassembler l'information préliminaire pour organiser le programme de sélection génétique.

1.2. PROGRAMME DE SELECTION

Les poules et coqs portant les caractères « cou nu » et « frisé » rencontrés dans la zone d'étude ont été récoltés des élevages et menés en reproduction naturelle au niveau de l'atelier des expérimentations de l'université (Figure 11). Leurs descendants ont été utilisés pour constituer le parquet phénotypique comprenant, soit des poules manifestant un seul caractère (Cou nu, Frisé), soit des poules manifestant les deux caractères simultanément (Cou nu : Frisé). Une fois adultes, ces animaux ont été pesés et leurs caractères morphologiques mesurés, leurs œufs ont été récoltés, pesés et mesurés pour les paramètres morpho-pondéraux.

Le programme de sélection qui est mis en œuvre (Figure 13) devrait nous permettre, dans son volet génétique, d'obtenir trois parquets homozygotes « Na:Na », « F:F », « I₀:I₀ », 1 parquet double homozygote « Na:Na/F:F » et 1 parquet triple homozygote « Na:Na/F:F/I₀:I₀ ». La méthodologie développée est essentiellement mendélienne, basée sur les croisements de test-cross, de back-cross, de croisements réciproques et de croisements de pénétration, avec sélection vers la récessivité. Les produits obtenus seront conservés et constitueront les générations grands-parentales à partir desquelles il deviendra possible d'organiser des croisements d'amélioration avec d'autres souches, y compris industrielles, pour introduire ces gènes de thermorégulation.

Le schéma global de sélection génétique avait pour objectif de produire une souche locale triple homozygote pure contenant le génotype récessif « Na:F:I₀ ». Cette souche, une fois produite, sera de phénotype « cou nu, plumes frisées et blanches » et constituera la génération grand-parentale de poules et coqs destinés soit à la reproduction, soit encore à la ponte, soit à la production de viande. Ces orientations diverses dépendront des performances qu'on aura obtenu en utilisant ces souches en croisement avec d'autres souches de ponte ou de viande.



Figure 13 : Poulets expérimentaux hétérozygotes pour les caractères Cou nu ou frisé.



Figure 14 : Poule expérimentale hétérozygote 'Cou nu-Frisée' âgée de 8 mois

La méthodologie développée a consisté à procéder par étapes de sélection :

1. Sélection vers l'homozygotie : à partir de sous-populations génétiquement hétérogènes, manifestant les caractères cou nu, plumes frisées, plumes blanches, on procède aux croisements mendéliens (test-cross, back cross) pour obtenir les souches homozygotes pures « Na:Na », « F:F », « I₀:I₀ ».
2. Sélection vers la double homozygotie : à partir des génotypes homozygotes purs « Na:Na » et « F:F », effectuer les croisements d'interpénétration pour obtenir les individus doubles homozygotes mâles et femelles de structure « Na:Na/F:F ». Ces individus seront de phénotype « cou nu, frisé ».
3. Sélection vers la triple homozygotie : à partir des individus doubles homozygotes et des individus homozygotes « I₀:I₀ », on procède aux croisements de pénétration du gène I₀ pour obtenir des individus de structures génétique « Na:Na/F:F/ I₀:I₀ », qui seront de phénotype « cou nu, frisé, blanc ».

NB : Les résultats présentés dans cette thèse concernent les animaux hétérozygotes pour les caractères « Cou Nu et Frisé ». Les données sur les animaux homozygotes seront fournis dans des travaux ultérieurs.

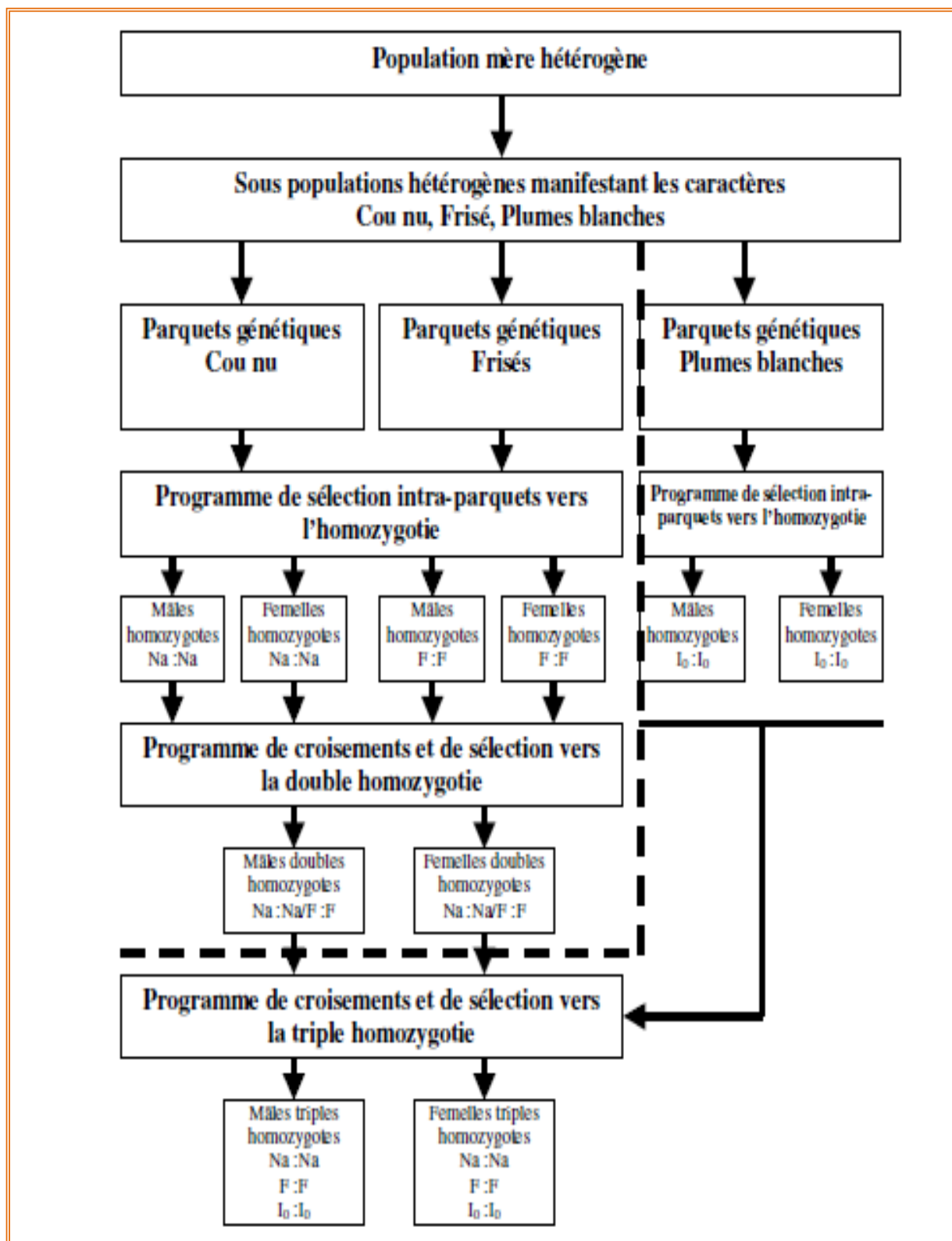


Figure 15: Diagramme général du programme de sélection pour la création de souches homozygotes résistantes à la chaleur chez la volaille locale (Halbouche et al. 2012).

Ces 3 produits de sélection, homozygotes, doubles homozygotes et triples homozygotes peuvent être utilisés dans le cadre de programmes d'amélioration des élevages fermiers, mais aussi industriels, notamment pour introduire le facteur génétique de thermotolérance.

Les autres volets du programme vont consister d'une part à suivre chez ces souches homozygotes locales, les particularités physiologiques, les performances et les comportements liés à la chaleur, et de mesurer d'autre part la qualité des produits (viande et œufs) issus de ces expérimentations. Dans tous les cas, il s'agira de déterminer le gain génétique obtenu chez ces souches et chez les produits de leurs croisements.

Les paramètres mesurés sur oiseaux vivants ont été le poids vif, l'envergure, la longueur de l'aile droite, la longueur du tarse droit et la longueur de la 3^{ème} rémige de l'aile droite après son arrachage. Sur les œufs ont été mesurés le poids total, le poids de l'albumen, le poids du vitellus et le poids de la coquille. La longueur de l'œuf et sa largeur ont été également relevés.

Les données obtenues ont été comparées d'une part pour déterminer le dimorphisme sexuel, d'autre part pour étudier l'effet des caractères récessifs Na et F sur les paramètres morpho-pondéraux. Les paramètres des œufs locaux ont été comparés avec ceux d'œufs issus de souche commerciale et avec les œufs issus de poules locales (Na, F et Na:F) mises en reproduction dans le cadre du programme.

Concernant la qualité de la viande des animaux « Cou nu », les résultats obtenus dans le cadre du programme de sélection sont fournis dans la thèse de Benabdelmoumene. D, (2016).

1.3. EVALUATION DE LA QUALITE DES ŒUFS

1.3.1. Animaux, conditions expérimentales et paramètres enregistrés

Nous avons constitué 3 parquets phénotypiques composés de 10 poules locales à plumage marron normalement emplumées «NORM», 10 poules locales à plumage marron hétérozygotes pour les caractères cou nu et frisé «NaF» et 10 poules de souche Lohmann Tradition «LT». Les poules locales (NORM et NaF) ont été élevées au sol dans le même bâtiment jusqu'à l'âge de 35 semaines. Quant aux pondeuses commerciales, elles ont été élevées dans un bâtiment séparé jusqu'à l'âge de 25 semaines. Les conditions d'élevage entre les poules locales et les pondeuses commerciales, pour des raisons de recherches antérieures, comportaient quelques différences que nous considérons mineurs.

Les trois groupes d'animaux ont été ensuite relogés pendant 5 semaines au sol dans un même bâtiment et séparés par une cloison grillagée. L'éclairage a été assuré par une ampoule de 100 watts supplémentant la lumière du jour. La température a été généralement au voisinage de 27 °C. L'eau et l'aliment commercial formulé pour la ponte ont été distribués *ad libitum* de façon identique pour les trois groupes.

Les œufs normaux ont été ramassés quotidiennement, nettoyés et analysés au laboratoire le jour même. Après numérotation, les œufs ont été pesés individuellement ($\pm 0,1$ g). La longueur et la largeur des œufs ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse ($\pm 0,01$ mm). L'indice de forme a été calculé selon Reddy et al (1979). Après cassage, les composants de l'œuf ont été déposés sur une plaque de verre plane. La hauteur d'albumen a été déterminée à l'aide d'une règle graduée placée à un centimètre du contour du jaune. Les unités Haugh (HU) ont été déterminées à partir de la hauteur d'albumen (H) et du poids de l'œuf entier (W) suivant la formule décrite par Haugh (1937) : $HU = 100 \log (H - 1,7W^{0,37} + 7,6)$.

La hauteur du jaune a été déterminée en plaçant la règle verticalement derrière celui-ci (Angrand 1986). Après séparation, le poids de l'albumen et celui du jaune ont été déterminés ($\pm 0,01$ g). Le ratio Vitellus:Albumen (V:A) a ensuite été calculé. Le pH a été mesuré avec un pH-mètre portatif étalonné dans l'albumen et le vitellus. La proportion d'albumen, du vitellus et celle de la coquille ont été calculées en divisant le poids de chaque composant par le poids de l'œuf entier. La composition chimique de l'œuf (protéines et lipides) a été déterminée selon AOAC (1990).

1.4. CONTRIBUTION A LA SELECTION DE PONDEUSES POUR L'ADAPTATION A LA CHALEUR PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

1.4.1. Approche expérimentale

Deux lignées pures de poules pondeuses commerciales (GF2 et GF5) ont été utilisées dans cette étude. A 15 semaines d'âge, chaque lignée a été placée en 6 parquets de 200 animaux chacun (Figure 14). Deux parquets pour chaque lignée ont été munis de nids de ponte individuels pour l'évaluation de la qualité des œufs. A partir de la 28^{ème} jusqu' à la 77^{ème} semaine d'âge, la moitié des parquets a été soumise à 3 cycles successifs de stress séparés par des périodes de récupération en conditions normales (neutralité thermique). Les autres parquets ont été maintenus en conditions standards tout au long de la période de production. Chaque cycle de stress a comporté 3 phases: i) 24 jours de stress alimentaire SA (régime

suboptimal) suivi de 24 jours d'un stress combiné « alimentaire et thermique » SAT (soit 12 jours avec changement de régime alimentaire et 12 jours avec changement de régime alimentaire SA et stress thermique ST) suivi de 24 jours de récupération. La température ambiante et l'humidité relative ont été respectivement de 28,4 °C et 46,9 % en moyenne pendant les périodes de stress thermique et de 19,6 °C et 68,8 % pendant la période de neutralité thermique.

1 GF5	2 GF2	3 GF5	4 GF2	5 GF5	6 GF2
12 GF2	11 GF5	10 GF2	9 GF5	8 GF2	7 GF5

Figure 16: Parquets génétiques (bleu : *Conditions standards*; rouge : *Conditions de stress thermique*)

1.4.2. Prise des photos thermiques et analyse d'images

1.4.2.1. Calibration de l'appareil

Pour calibrer l'appareil, il faut pouvoir déterminer l'émissivité de la surface étudiée. Pour certaines surfaces, le guide de la caméra mentionne les valeurs communément admises. Pour les plumes, cette valeur n'est pas disponible, pour la déterminer, il faut utiliser deux procédés différents (caméra thermique + un autre moyen). On commence par mesurer la température de surface d'une zone emplumée avec un thermomètre de surface. Pour délimiter la zone, il faut se fier à un repère anatomique clair (par exemple, la pointe de l'aile). Réaliser plusieurs mesures dans la même zone (une dizaine de mesures au moins). En effet, la température de surface peut fortement varier dans une même zone et il sera nécessaire d'utiliser une valeur moyenne. Prendre une image thermique de la même zone de l'animal et calculer la température moyenne dans la même zone.

Pour l'environnement, placer la boîte dans la pièce suffisamment longtemps à l'avance pour lui permettre de se mettre à la température de la pièce. Si les animaux doivent être parqués avant d'être mesurés, on peut par exemple entre le matériel dans la cellule avant de parquer

les animaux. Le matériel sera parvenu à température ambiante lorsque les animaux auront été parqués. Relever également la température du parquet ou de la pièce et le pourcentage d'humidité de celle-ci.

1.4.2.2. Prise de photos

Prendre une première photo de la boîte vide, et y enregistrer l'endroit (parquet par exemple), le numéro de l'expérience, la température de l'environnement et le taux d'humidité de l'environnement.

Sur les oiseaux, les images thermiques ont été prises au début de l'expérimentation (à 28 semaines), après chaque période de stress thermique, et à la fin de chaque période de récupération à l'aide d'une caméra infrarouge (ThermaCamTM SC2000; FLIR Systems, Inc., Wilsonville, USA) (Figure 15) munie d'une carte SD pour stocker les images. Cette caméra est capable de détecter des différences de températures de l'ordre de 0,05°C. Au total 625 poules ont été photographiées.

Chaque poule est posée debout, de profil dans la boîte en bois et photographié à une distance d'environ 1m. Faire attention à ce que la crête soit bien visible. Si ce n'est pas le cas, prendre une seconde photo de l'animal en maintenant la crête droite. Zoomer sur la crête aboutira à un résultat plus précis en améliorant le nombre de pixels et en facilitant la délimitation de la zone. Les photos thermiques de la crête et des pattes ont été prises séparément.

1.4.2.3. Déchargement des images sur ordinateur

Pour télécharger les photos sur l'ordinateur, on utilise le câble USB prévu à cet effet dans la caméra. Le menu de téléchargement s'affiche automatiquement.

1.4.2.4. Traitement informatique des images

a- Détermination des paramètres d'émissivité

Cette opération est réalisée avec le logiciel ThermaCam Pro 2.1 (FLIR Systems AB, Danderyd, Sweden). Après avoir ouvert l'image de calibration, délimiter la zone de l'aile déterminée précédemment et modifier les paramètres de température ambiante et d'humidité dans le menu « Image/Setting/Parameters ». Dans ce même onglet, régler ensuite le paramètre d'émissivité jusqu'à obtenir la température de surface de l'aile mesurée avec le thermomètre de contact. Les valeurs proposées dans la littérature sont 0,80 à 0,98 pour les plumes et de

0,95 à 0,98 pour la peau. D'après nos premières valeurs collectées, la valeur moyenne obtenue pour les plumes est de 0,91 et de 0,98 pour la peau.

Les températures moyennes de la surface de la crête, de la surface des pattes et de l'œil ont été ainsi mesurées. L'émissivité a été fixée 0,98 pour la crête et les pattes, et à 0,95 pour l'œil.

b- Analyse des images thermographiques

Le logiciel Therma CAM Pro 2.10 a été utilisé pour le traitement des images. La délimitation des zones complètes est possible car le logiciel ThermaCam Pro 2.1 dispose d'une fonction « zone à contours irréguliers ». La sélection de cette icône sur le bord gauche de l'image permet de dessiner le contour de la crête, de l'aile ou de la patte. Si une zone est mal délimitée, se placer sur segment mal délimité, maintenir le bouton gauche de la souris enfoncé et glissez pour modifier la forme. Il faut faire attention à ne « déborder » :

- Sur les zones de l'environnement (en particulier pour les pattes et la crête », les températures étant généralement sensiblement inférieures à celle de la zone concernée.
- Sur les zones de peau nue (pour l'aile) dont la température est beaucoup plus élevée que celle recherchée.

En cas de difficultés à distinguer les contours d'une zone, on peut :

- Changer la gamme de couleur utilisée : pour cela, cliquer sur l'icône « palette de couleur » et choisir en fonction des besoins « rain 900 » (pour visualiser en thermique) ou « grey » (donne de bon résultats pour délimiter la zone de l'aile)
- Zoomer sur la zone à délimiter : cliquer sur l'icône « loupe » puis sélectionner la zone sur laquelle on souhaite zoomer avec la souris.

c- Exportation des résultats sous Excel

Dans le bas de l'image, cliquer sur l'onglet « Results ». L'ensemble des paramètres calculés apparaît. Un clic droit dans la zone permet de copier les résultats que l'on peut ensuite coller directement dans un fichier Excel.

1.4.3. Evaluation de la qualité interne et externe des œufs

Les œufs récoltés sur chaque poule ont été numérotés et conservés. Les paramètres mesurés sont : le poids entier (g), la longueur (mm), le diamètre (mm), le poids de la coquille (g), sa

couleur (a^* , b^* , L^*) et son épaisseur (mm), le poids (g) et la couleur du vitellus (a^* , b^* , L^*). La résistance de la coquille (en Newton) a été estimée par la méthode de la force de rupture pendant la compression quasi-statique, à l'aide d'un appareil de type Instron (Figure 16). La fraîcheur des œufs a été mesurée en unité Haugh. L'indice de forme et les pourcentages respectifs du blanc, du jaune et de la coquille ont ensuite été calculés (voir page 69). Le poids final ainsi que le gain de poids de chaque poule ont été également déterminés.



Figure 17 : Caméra infrarouge utilisée pour mesurer la température de surface chez les poules

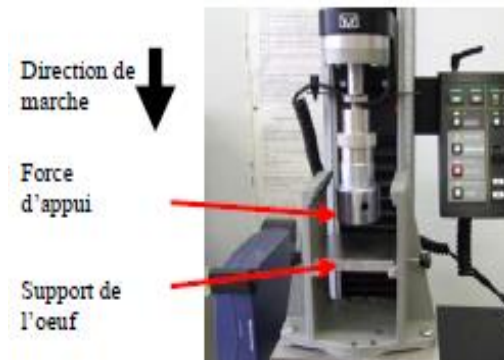


Figure 18 : Instron, appareil de mesure de la charge de rupture et de la rigidité statique

1.5. CALCULS, ANALYSES STATISTIQUES ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Pour les données qualitatives obtenues lors des enquêtes de terrain, le test χ^2 a été utilisé pour la comparaison des fréquences obtenues pour les caractères de coloris (couleur des de la crête, la couleur des tarse, la couleur des yeux et celle des barbillons) ainsi que pour la comparaison des fréquences des phénotypes porteurs des allèles dominants de gènes majeurs en fonction de la zone et du sexe. Le test χ^2 a été suivi par la procédure de Marascuilo (Marascuilo 1966) pour déterminer les fréquences statistiquement différentes entre elles au seuil de 5%. Les fréquences alléliques des mutations ont été calculées en utilisant l'approche de l'équilibre de Hardy-Weinberg selon la formule suivante:

$$q = \sqrt{\frac{m}{t}} \quad \text{et} \quad p = 1 - q, \quad (1)$$

Avec :

q= fréquence de l'allèle récessif.

P= fréquence de l'allèle dominant

m= nombre de poules du phénotype récessif.

t= nombre total de poules.

Pour les paramètres quantitatifs, les statistiques descriptives (Moyenne, erreur-type et coefficient de variation) ont été calculées. Les données ont été ensuite soumises à une analyse de variance incluant les facteurs région et sexe suivant la procédure GLM (General Linear Model) du logiciel SAS (Statistical Analysis System, 2001):

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk} \quad (2)$$

avec y_{ijk} = paramètre étudié mesuré sur l'animal; μ = moyenne générale de la population ; A_i = effet de la région (i: Mascara, Mostaganem et Relizane); B_j = effet dû au sexe (j: Mâle et femelle); $(AB)_{ij}$ = effet de l'interaction de premier ordre entre région et sexe ; e_{ijk} = erreur résiduelle. Le test de Tukey a été ensuite appliqué pour la comparaison de l'effet de la région et l'interaction entre région et sexe. Les différences ont été déclarées significatives à $P < 0.05$.

Dans une seconde étape, les coefficients de corrélation (r) de Pearson ont été calculés pour estimer la relation entre les paramètres quantitatifs.

Dans une troisième étape, une analyse en composante principale (A.C.P) a été réalisée afin de proposer par la suite des équations linéaires impliquant l'ensemble des variables qui expliquent mieux la variabilité entre les populations. Le déterminant de la matrice de corrélation, le test de sphéricité de Bartlett et l'indice KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) d'adéquation de la solution factorielle ont été produits. Le critère basé sur le pourcentage cumulé de la variance expliquée a été utilisé pour déterminer le nombre de facteurs à retenir.

En dernière étape, nous avons procédé à une régression multiple par la méthode Stepwise (étape par étape) afin d'obtenir des modèles de prédiction du poids vif en fonction des paramètres morpho-métriques mesurés (eq.3) et les composantes principales extraites (eq.4).

$$BW = a + b_1X_1 + \dots + b_iX_i; \quad (3)$$

$$BW = c + d_1PC_1 + \dots + d_iPC_i, \quad (4)$$

où : BW= poids vif ; a et c = les ordonnées à l'origine (constantes de la régression) ; b_i et d_i = i-èmes coefficient partiel du i-ème paramètre corporel mesuré ou composante principale. X_i et PC_i = paramètre corporel mesuré ou composante principale. La signification des coefficients de régression a été vérifiée par le test t.

Afin de déterminer l'effet du génotype, les données obtenues ont été soumises à une analyse de variance à un facteur. La plus petite différence significative (PPDS) a été retenue lorsque l'effet du génotype est significatif. Les différences ont été déclarées significatives à $P < 0,05$.

Concernant les données issues de l'étude relative à la possibilité de sélection de pondeuses adaptées à la chaleur par thermographie infrarouge, les statistiques descriptives (moyenne, écart-type et coefficient de variation) pour chaque variable ont été fournies. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés pour mesurer les relations entre les différents paramètres. De plus, une Analyse en Composante Principales (ACP) et une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) ont été réalisées sur toutes les variables. Les données ont été traitées à l'aide des logiciels SAS version 9.3 et SPSS. Version 22.0.

CHAPITRE. 2

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. CARACTERISATION PHENOTYPIQUE DE LA POULE LOCALE (*GALLUS GALLUS*) DANS LE NORD-OUEST ALGERIEN.

2.1.1. Alimentation et habitat

La fouille demeure la principale source d'aliments pour les volailles en élevage traditionnel, parmi les aliments prélevés par fouille, on trouve des céréales, des insectes, des vers de terre et différentes herbes. Parallèlement, les femmes donnent à leurs poussins et poules le distribué qui consiste en son de blé, grains d'orge ou de blé, pain sec moulu ou imbibé, restes de couscous, etc. Ces observations sont en accord avec les rapports d' El-Yuguda et al. (2007) relatifs à la description des modèles alimentaires du poulet villageois au Nigeria et en Inde.

En élevage familial, les poulaillers, quand ils existent, sont en général aménagés et construits à l'aide de matériaux locaux hétéroclites (bois, plastique, tôle de zinc, grillage) tandis que la litière est quasiment inexistante. Dans ces habitats précaires, les volailles sont le plus souvent exposées aux intempéries, aux accidents et aux prédateurs. Des constatations similaires ont été rapportées par Abubakar et al. (2007) et Sharma (2007) sur les élevages villageois au Cameroun et en Inde, respectivement. Moreki et Masupu (2001) ont aussi relevé le manque d'abris réservés aux poulets villageois au Botswana.

2.1.2. Conduite sanitaire et prophylactique

Nombreuses sont les maladies qui ont été décrites dont les plus couramment signalées sont celles affectant l'appareil respiratoire. D'autres maladies touchent le plumage et sont dues à des parasites externes (poux, puces et acariens) appelées par les populations rurales soit « El Djedri », « El Khabcha » ou « El Gomila ». La présence d'autres symptômes, comme les diarrhées, des paralysies et tremblements appelés « Essatour », surtout chez les poussins, l'apparition de kystes au niveau des paupières « Etellis », ainsi que la peste aviaire « Ettaoun », une très grave maladie qui emporte un nombre assez important de sujets. En cas de maladie, les femmes villageoises déploient leur ingéniosité pour soigner les animaux avec des médicaments traditionnels et certaines plantes médicinales (oignon, poivre noir et huiles végétales). Abubakar et al. (2007) rapportent que la médecine ethno-vétérinaire a été la méthode la plus courante pour lutter contre les maladies, combinée à l'abattage (consommation) et la vente chez la volaille villageoise du Cameroun et du Nigeria, où les

principales causes de perte ont été attribuées aux maladies et à la prédation. Chabeuf (1990), Ambali (2003) et Ekue et al. (2002) ont relevé que les pratiques ethno-vétérinaires sont courantes en aviculture villageoise en raison du manque presque total d'assistance technique, de vulgarisation, mais aussi à cause de la facilité d'accès et du faible coût d'acquisition des produits ethnovétérinaires. Cette méthode prophylactique est toutefois rarement couronnée de succès et son efficacité demande à être davantage étudiée. L'incidence des maladies est certainement la principale cause de perte de poulets. Parmi les autres causes, peuvent être cités la prédation, le froid et la famine (Abubakar et al. 2007).



Figure 19: Poulets locaux en divagation

2.1.3. Inventaire des phénotypes

Les sorties sur terrain menée dans les villages de Mostaganem, Mascara et Relizane révèlent l'existence de 19 phénotypes avicoles différents (Tableau 7). Ces phénotypes sont désignés par la population soit selon la couleur du plumage, soit selon certaines caractéristiques morphologiques particulières. La diversité des phénotypes liés à la couleur du plumage

provient du déterminisme polygénique complexe du caractère chez cette espèce. On compte, dans le génôme de l'espèce, au moins 18 loci qui interviennent dans la détermination de la couleur du plumage, et quelque 46 allèles connus qui s'expriment en dominance, en codominance, en récessivité ou encore en récessivité dominante. Par contre, les caractéristiques morphologiques sont le plus souvent monogéniques, impliquant des allèles récessifs, manifestant soit la codominance, soit la récessivité, plus ou moins rares dans les populations.

Les appellations attribuées aux phénotypes sont vernaculaires, elles obéissent aux subtilités de langages, le plus souvent à caractère local. Le même phénotype peut être désigné différemment selon les régions. Certains phénotypes peuvent être rencontrés dans toutes les zones d'étude, d'autres sont localisés dans certaines régions seulement, montrant ainsi une inégalité de répartition qui serait liée, selon notre étude, aux spécificités écologiques des zones étudiées (différences plaine vs. montagne, urbain vs. rural) et à la destination des produits de l'aviculture (autoconsommation vs. rente), selon une logique présentée dans la figure 20.

Tableau 5. Inventaire des phénotypes avicoles rencontrés dans les trois zones d'étude.

<u>Phénotypes de poulet local rencontrés dans certaines régions du Nord-Ouest algérien : (MASCARA, MOSTAGANEM et RELIZANE)</u>	
❖ Couleur du plumage	
-	Djadja El Kehla (poule noire) ou Hadjrat El Oued
-	Djadja El Baidha (poule blanche) ou Herrouria
-	M'barbcha (poule tachetée) ou M'zerkcha
-	Nouar El Foul (tachetée noir et blanc)
-	Ragta (herminée)
-	El Djelbania
-	T'chinia (Orangée)
-	M'zeouaka (Bariolée)
-	Ragba El Hamra (Cou rouge)
-	Kahuia (Marron dominant)
-	El Hamra (poule rouge)
-	M'deheb (poule dorée)
-	R'madia (poule cendrée)
❖ Caractères morphologiques	
-	Mezlout, Ariane (Cou nu)
-	M'chouek, Harcha ou encore Sbaniouli (Plumage frisées)
-	H'mamia (poule naine)
-	M'serouel (tarse emplumé)
-	M'chemel (ramassé, corps court)
-	Kaoubia (poule huppée)
❖ Structures génétiques impliquées	
-	Loci : E, C (Synthèse du pigment)
-	Loci : I, S, Lav, Ig, Bl (Organisation subcellulaire du pigment, phénotypes de dilution)
-	Loci : S, B, Choc (liés au sexe)
-	Loci : Co, Db, Pg, Ml, Cha, Mh, Di, Cb, Mo (autres effets d'interaction)
-	Na, F, Dw, Te, autres



Poule tachetée noir et blanc (Nouar el-foul)



Poule noire (Djadja kehla ou Hajrat eloued)



Poule dorée (Mdeheb)



Coq doré à queue noire (M'daheb)



Coq Bankiva marron noir cuivré



Poule herminée à queue courte (Ragta)

Figure 20: Exemples de caractères de coloration de plumage chez la poule locale.



Coq tacheté (M'zarkech)



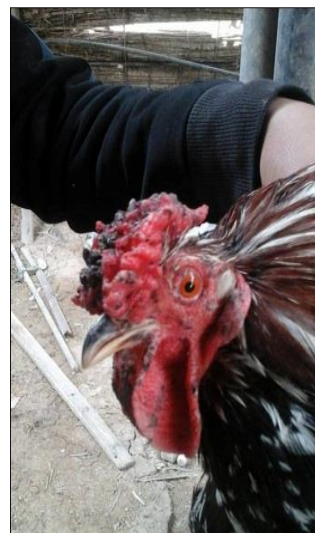
Poule hétérozygotes cou nu-frisée



Tête huppé (Kaoubia)



Cou nu (Mazlout/Ariane)



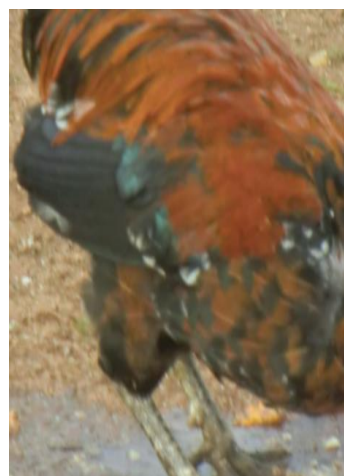
Crête en rose



Pattes jaunes



Pattes roses



Pattes vertes

Figure 21: Exemples de phénotypes rencontrés

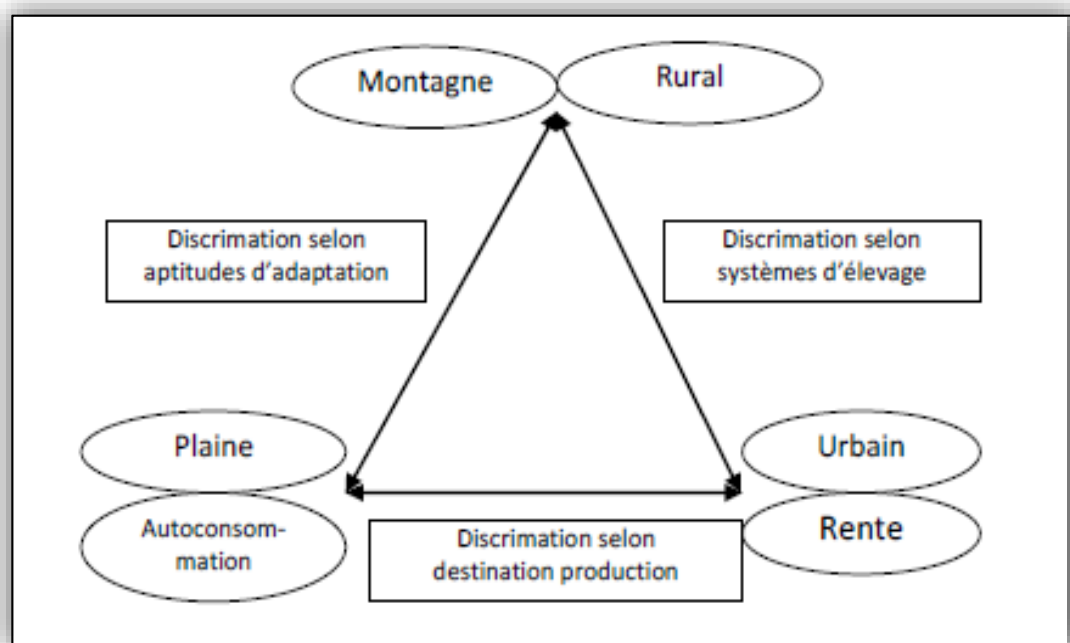


Figure 22: Facteurs de répartition spacio-écologiques des phénotypes avicoles locaux Halbouche et al.(2012).

La diversité de la couleur du plumage chez les populations avicoles locales est compréhensible lorsqu'on considère le nombre de loci et d'allèles qui interviennent dans sa détermination, et la complexité des interactions génétiques du système (Gourichon et al. 2009). Ce mécanisme de détermination de la couleur du plumage obéit à l'action et à l'interaction de gènes « fondamentaux » synthétiseurs de pigments (E, C), de gènes qui contrôlent l'organisation subcellulaire des pigments et les phénotypes de dilution, et de gènes qui contrôlent le dessin du plumage.

En comparant les phénotypes rencontrés dans nos régions, il est très facile de constater qu'ils descendent de la lignée Bankiva (Figure 1) décrite comme étant une lignée de type ponte, légère à mi-lourde, élégante, agile et très active, oreillons et coquille de l'œuf de couleur blanche, ponte moyenne à très bonne.

La diversité génétique des populations avicoles locales a été également mise en évidence en Kabylie par Moula et al. (2009). Ces derniers recensent 18 phénotypes distingués par la couleur du plumage ou sa répartition. Plus généralement, la diversité phénotypique chez les populations avicoles locales est retrouvée dans tous les pays (Sonaiya et Swan 2004, FAO 2008), notamment ceux du Sud, mais des risques réels d'érosion, voire d'extinction des races, existent sous la pression des souches commerciales (Larivière et Leroy 2008). La nécessité

de mise en place de programmes de conservation et de valorisation est fortement recommandée.

2.1.4. Fréquences phénotypiques des caractères de coloris et de certaines mutations visible:

Les traits qualitatifs étudiés chez les poulets sont présentés dans le tableau 8. Pour la crête, le rouge foncé était la couleur dominante (77,8 %). Ce résultat recoupe les constatations de Moula et al. (2012) dans la région de la Kabylie. De plus, la crête rouge foncé était plus présente ($P < 0,01$) chez les mâles que chez les femelles. Les mêmes observations ont été rapportées par Guni et al. (2013) en Tanzanie et Liyanage et al. (2015) au Sri Lanka. Chez les mâles, l'intensité de la coloration rouge indique une bonne qualité du sperme (Navara et al. 2012), donc, il y a probablement une bonne fertilité chez les oiseaux de la zone d'étude. Du point de vue biologique, il est important d'étudier ce caractère phénotypique puisqu'il s'agit d'un bon indicateur de santé et d'intensité de ponte chez la poule (Hume 2011).

Dans la présente étude, une grande variabilité pour la couleur du tarse a été mise en évidence. Les tarses gris et blancs étaient, dans l'ensemble, plus fréquents que les tarses jaunes et noirs. Le vert était le moins fréquent. Un effet région a été observé pour ce caractère. Dans la région de Mostaganem, nous avons constaté des fréquences élevées des tarses noirs ($P < 0,001$) et verts ($P < 0,05$) tandis que le blanc affiche des fréquences plus faibles (12,6 %). Des fréquences élevées des pattes blancs et jaunes ont été observées dans la zone des forêts humide du Camroun (Fosta et al. 2010) et dans les districts Jarso et Horro en Ethiopie (Desta et al. 2013) alors que le noir était plus fréquent en Lybie (El-Safty 2012) et au Nigéria (Egahi et al. 2010). Cette diversité de coloris des tarses est probablement due aux combinaisons de gènes impliqués dans le déterminisme de la couleur des pigments.

Les pattes vertes étaient plus fréquentes chez les mâles que chez les femelles ($P < 0,001$). En Les pattes blanches étaient, par contre plus fréquentes chez les femelles ($P < 0,05$). En revanche, pour les autres couleurs, l'effet sexe n'a pas été mis en évidence ($P > 0,05$). La faible fréquence des pattes vertes observée dans cette étude n'est pas surprenant, ce caractère semble avoir un effet défavorable sur la viabilité des poulets adultes (Desta et al. 2013).

La variabilité de la couleur des yeux est beaucoup moins importante que celle des tarses. La couleur orange des yeux représente 81,7 % de l'effectif total tandis que le jaune et le marron montrent des fréquences beaucoup plus faibles. Ces observations sont en cohérence avec les données de la littérature (Fosta et al. 2010). La variabilité observée pour la couleur des yeux dépend dans une large mesure des pigments caroténoïdes et de l'approvisionnement en sang

dans les différentes structures de l'œil (Crawford 1990, Eskindir Aklilu 2013). L'effet région pour ce caractère a été mis en évidence dans cette étude. La proportion de poulets avec des yeux orange était plus élevée ($P < 0,001$) à Relizane qu'à Mostaganem, tandis que les yeux jaunes étaient moins fréquents ($P < 0,001$).

Des variations ont également été observées pour la couleur des oreillons. Ceux-ci ont été le plus fréquemment de couleur blanche (73,96%) dans les trois régions visitées. Il est à noter que l'oreillon blanc est une caractéristique du poulet de la région méditerranéenne (FAO 2010). Les oreillons rouges ont été moins fréquents (16,81 %). Des résultats similaires ont été trouvés dans d'autres études (Roxas et al. 1996, Faruque et al. 2010, Egahi et al. 2010). La proportion restante (9,21 %) est un mélange soit de « jaune », « marbré » ou encore du « noir- rouge- jaune ». Les oreillons rouges ont été plus fréquents chez les mâles que chez les femelles ($P < 0,01$).

Les résultats obtenus montrent, par ailleurs, que les fréquences des phénotypes mutants dans la population sont assez faibles, comprises entre 0,45 % et 8,82 % en fonction du gène considéré (Tableau 9). Des résultats similaires ont été rapportés par Sola-Ojo et al. (2011) et Fajemilehin (2010) au Nigeria, Hassaballah et al. (2014) au Tchad, Abdelqader et al. (2008) en Jordanie. La faible fréquence de ces gènes majeurs notamment ceux impliqués dans l'adaptation à la chaleur peut avoir des raisons sociales. Ainsi, les animaux Cou Nu sont considérés par les éleveurs comme fétiches et ils sont vendus à des prix inférieurs (Yakubu 2010, Fajemilehin (2010). Pour le phénotype frisé, la faible fréquence observée est probablement due selon Haaren-Kiso et al. (1995) à l'action létale de ce gène dans son état homozygote.

Les Fréquences de ces animaux mutants varient significativement d'une région à l'autre pour l'ensemble des gènes considérés, sauf pour le caractère tête huppée et celui de la crête en pois. Les fréquences des animaux porteurs des mutations d'intérêt ont été plus faibles ($P < 0,01$) à Mostaganem qu'à Relizane. La région de Mascara montre des valeurs intermédiaires. Ces résultats peuvent être expliqués par les spécificités écologiques pour chaque région (plaine vs montagne, urbain vs rural) (Halbouche et al. 2012) ou encore par les préférences des agriculteurs pour certains phénotypes particuliers. Dans cette étude, nous avons observé des proportions plus élevées pour les mutations crête en pois et tête hupée chez les poules que chez les coqs ($P < 0,001$). Par contre, la mutation crête en rose était plus fréquente chez les mâles que chez les femelles ($P < 0,001$). Dans tous les cas, les effectifs et la répartition géographique de ces mutants ne sont toutefois pas encore clairement établies en Algérie.

Tableau 6. Fréquences (%) des caractères de coloris pour certaines parties du corps (crête, tarse, œil, et oreillon) chez 1552 poulets locaux dans le Nord-Ouest algérien.

Caractère	Région			χ^2	Sexe		χ^2	Total
	Mostaganem	Relizane	Mascara		Mâles	Femelles		
Effectif	n=570	n=587	n=395		n=409	n=1143		n=1552
Crête								
Rouge foncé	75,79 ^a	78,36 ^a	80,00 ^a	2,55 ^{ns}	82,40	76,20	6,70 ^{**}	77,83
Rouge clair	24,21 ^a	20,61 ^a	20,00 ^a	2,55 ^{ns}	17,60	23,79	6,70 ^{**}	22,16
Tarse								
Gris	32,98 ^a	29,13 ^a	31,14 ^a	2,00 ^{ns}	28,70	31,85	1,48 ^{ns}	31,05
Blanc	32,98 ^a	46,51 ^b	44,30 ^b	24,30 ^{***}	38,60	41,80	5,77 [*]	40,90
Jaune	15,09 ^a	14,14 ^a	17,72 ^a	2,40 ^{ns}	15,90	15,22	0,10 ^{ns}	15,39
Noir	12,63 ^b	6,13 ^a	4,30 ^a	26,50 ^{***}	9,00	7,70	0,74 ^{ns}	8,05
Vert	6,32 ^b	4,09 ^{ab}	2,53 ^a	8,14 [*]	7,90	3,41	13,43 ^{***}	4,51
Œil								
Orange	78,60 ^a	85,86 ^b	80,00 ^{ab}	11,02 ^{***}	83,40	81,10	1,04 ^{ns}	81,70
Marron	8,07 ^a	7,67 ^a	8,10 ^a	0,08 ^{ns}	7,09	8,22	0,53 ^{ns}	7,92
Jaune	13,33 ^b	6,47 ^a	11,90 ^b	15,90 ^{***}	9,50	10,67	0,42 ^{ns}	10,37
Oreillons								
Blanc	73,51 ^a	73,94 ^a	74,68 ^a	0,16 ^{ns}	71,60	74,80	1,57 ^{ns}	73,96
Rouge	15,61 ^a	17,55 ^a	17,47 ^a	0,93 ^{ns}	21,55	15,14	8,77 ^{**}	16,81
Autres ¹	10,88 ^a	8,51 ^a	7,85 ^a	3,10 ^{ns}	6,85	10,06	8,76 ^{**}	9,21

Les lettres différentes sur la même ligne indiquent des différences significatives. * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ^{ns} : les fréquences ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$); ¹ jaune ou rouge tacheté de jaune et de noir.

Tableau 7. Pourcentages (%) des animaux porteurs de certaines mutations visibles en fonction du sexe et de la région.

Phénotype	Région			χ^2	Sexe		χ^2	Total
	Mostaganem	Relizane	Mascara		Mâles	Femelles		
N	570	587	395		409	1143		1552
[Na]	5,61 ^a	11,40 ^{ab}	9,60 ^b	12,50 ^{***}	10,51	8,22	1,96 ^{ns}	8,82
[F]	0,00 ^a	1,02 ^b	0,25 ^{ab}	7,90 ^{**}	0,73	0,35	0,98 ^{ns}	0,45
[Pti]	0,20 ^a	2,00 ^b	1,52 ^{ab}	8,70 ^{**}	1,95	0,96	2,46 ^{ns}	1,22
[R]	0,70 ^a	5,60 ^b	3,80 ^b	21,90 ^{***}	6,11	2,36	13,08 ^{***}	3,35
[P]	5,01 ^a	3,20 ^a	6,30 ^a	5,30 ^{ns}	0,49	6,21	22,00 ^{***}	4,70
[Cr]	5,30 ^a	4,30 ^a	7,90 ^a	5,90 ^{ns}	1,96	6,82	13,64 ^{***}	5,54
[Other ¹]	83,20 ^b	72,50 ^a	70,63 ^a	26,30 ^{***}	78,25	75,07	1,65 ^{ns}	75,90

Les lettres différentes sur la même ligne indiquent des différences significatives : * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ^{ns} : les fréquences ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) ; ¹ individus qui ne portent aucun des caractères étudiés.

2.1.5. Fréquences alléliques des gènes majeurs

Les fréquences alléliques des gènes Cou nu, frisé, ptilopodie, tête huppée, crête en rose et crête en pois sont respectivement 0,045 ; 0,002 ; 0,006 ; 0,03 ; 0,017 et 0,024 (Tableau 10). Les fréquences observées indiquent que les animaux porteurs de certains caractères, particulièrement le frisé et le tarse emplumé sont en voie de disparition. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés dans la région Fulani au Nigeria (Sola-Ojo et al. 2011). Ces auteurs ont rapportés des fréquences géniques de 0,077 pour le cou nu, 0,078 pour le frisé, 0,076 pour la ptilopodie et 0,074 pour le caractère huppée. Concernant la crête en pois et la crête en rose, les résultats obtenus sont similaires à ceux rapportés par Ikeobi et al. (2001) chez le poulet local au Nigeria où les fréquences des gènes P et R ont été respectivement de 0,02 et 0,01.

Tableau 8. Effectifs observés et attendus et fréquences géniques pour certaines mutations visibles rencontrés chez 1552 poulets locaux dans le Nord-Ouest algérien.

Caractère	Allèle	Eff. The	Eff. Obs	%	Fréq. Gén. Cal
Cou Nu	Na	1164	137	8,82	0,044
Autres ¹	na ⁺	388	1415	91,18	0,956
Frisé	F	1040	7	0,45	0,002
Autres	f ⁺	512	1545	99,55	0,997
Tarse emplumé	Pti	1164	19	1,22	0,006
Autres	pti ⁺	388	1533	98,78	0,994
Crête en rose	R	1164	52	3,35	0,017
Autres	r ⁺	388	1500	96,65	0,983
Crête en pois	P	1164	73	4,7	0,024
Autres	p ⁺	388	1479	95,3	0,976
Tête hupée	Cr	1164	86	5,54	0,03
Autres	cr ⁺	388	1466	94,46	0,97

Eff. The= Effectif théorique, Eff. Obs= Effectif observé ; Fréq. Gén. Cal = Fréquences géniques calculées. ¹ individus qui ne portent aucun des caractères étudiés.

Cette situation alarmante exige une attention scientifique toute particulière pour la conservation et l'utilisation de ces gènes adaptatifs dans les programmes de l'amélioration des élevages avicoles. Les effectifs des animaux portant les caractères Cou nu et Frisés notamment devraient être multipliés. L'effet favorable de ces gènes sur les performances des volatils sous climat chaud a déjà été démontré (Mathur et Horst 1988). Wright et al. (2009), ont souligné que la crête en pois a un effet favorable au froid car elle réduit les pertes de chaleur chez l'animal et le rend plus résistant aux lésions provoquées par les coups de froid. Shoffner et al. (1993) ont rapportés que les poulets ptilopodes avaient de meilleures performances en termes de poids vif et d'intensité de ponte. Par contre, la crête en rose semble avoir un effet défavorable sur la fertilité des coqs, plus prononcé chez les animaux homozygotes.

2.1.6. Effet du sexe et de la région sur les paramètres quantitatifs mesurables

Les statistiques descriptives pour le poids vif et les mensurations corporelles des poulets locaux sont présentées dans le tableau 11. Le poids vif moyen est de 1716 ± 315 g chez les coqs et de 1451 ± 222 g chez les poules. Ces valeurs sont relativement plus élevées que celles obtenues par Moula et al. (2012) dans la région de la Kabylie (mâles = 1427 ± 18 g, femelles

= 1144 ± 18 g) et par Getu et al. (2014) en Ethiopie (mâles = 1630 ± 300 g, femelles = 1370 ± 200 g) mais plus faibles que celles rapportées au Nigéria (mâles = 2400 ± 140 g, femelles = 1500 ± 140 g) (Jesuyon et Salako 2013) et en Tanzanie (Mâles= 2095 ± 29,9 g, femelles = 1525 ± 15,9 g) (Guni et al. 2013). Dans tous les cas, plusieurs facteurs tels les imprécisions de mesures, l'âge des animaux, la période des mesures ainsi que des facteurs génétiques et environnementaux peuvent être à l'origine de ces variations

Tableau 9. Moyennes des moindres carrés et erreur-type du poids vif (g) et des mensurations corporelles (cm) chez 778 poulets locaux dans le Nords-Ouest algérien.

Trait	Sexe	Région			Total	Probabilité			R ²
		Mostaganem	Mascara	Relizane		Région (R)	Sexe (S)	R x S	
PV	♂	1637,57±25,20 ^a	1702,00±24,30 ^a	1814,25±25,69 ^b	1716±17,53	****	****	Ns	0,23
	♀	1404,24±21,55 ^a	1450,53±21,33 ^{ab}	1494,45±20,32 ^b	1451±10,41				
	Total	1502,78±18,39 ^b	1559,95±18,00 ^a	1617,54±17,90 ^c					
LCOR	♂	30,07±0,15 ^b	30,75±0,14 ^a	30,93±0,16 ^a	30,6±0,08	***	****	****	0,30
	♀	28,86±0,13 ^b	28,24±0,12 ^a	28,88±0,12 ^b	28,7±0,08				
	Total	29,36±0,12 ^{ab}	29,33±0,11 ^a	29,67±0,11 ^b					
ENV	♂	46,82±0,37 ^b	46,30±0,35 ^a	47,60±0,38 ^b	46,9±0,11	****	****	*	0,31
	♀	40,97±0,31 ^a	41,79±0,31 ^a	43,09±0,30 ^b	42,0±0,22				
	Total	43,44±0,28 ^a	43,76±0,28 ^a	44,83±0,28 ^b					
LPT	♂	9,49±0,10 ^b	9,90±0,09 ^a	10,15±0,10 ^a	9,85±0,06	*	****	****	0,24
	♀	8,94±0,08 ^a	8,93±0,08 ^a	8,61±0,08 ^b	8,81±0,04				
	Total	9,18±0,07	9,35±0,07	9,20±0,07					
CPT	♂	4,60±0,05 ^a	4,50±0,05 ^a	4,82±0,05 ^b	4,63±0,02	****	****	Ns	0,37
	♀	3,69±0,05 ^a	3,77±0,04 ^a	4,02±0,04 ^b	3,83±0,03				
	Total	4,07±0,04 ^a	4,09±0,04 ^a	4,33±0,04 ^b					
LARBr	♂	5,80±0,07 ^b	5,54±0,07 ^a	5,49±0,07 ^a	5,61±0,04	ns	****	****	0,10
	♀	5,90±0,06 ^a	5,97±0,06 ^a	6,14±0,05 ^b	6,01±0,03				
	Total	5,86±0,05	5,78±0,05	5,89±0,05					
LBec	♂	2,44±0,04	2,45±0,03	2,43±0,04	2,44±0,17	ns	**	Ns	0,05
	♀	2,39±0,03	2,38±0,03	2,38±0,03	2,38±0,02				
	Total	2,41±0,02	2,41±0,02	2,40±0,02					
HCrt	♂	3,56±0,05 ^b	3,77±0,05 ^a	3,61±0,05 ^b	3,65±0,03	**	****	***	0,74
	♀	1,85±0,04 ^a	1,85±0,04 ^a	1,97±0,04 ^b	1,89±0,02				
	Total	2,57±0,06	2,69±0,06	2,60±0,6					
LBrb	♂	2,92±0,05 ^a	3,01±0,05 ^{ab}	3,08±0,05 ^b	3,00±0,03	ns	****	**	0,50
	♀	1,97±0,05	1,86±0,05	1,87±0,04	1,89±0,02				
	Total	2,37±0,05	2,36±0,05	2,34±0,05					

¹ PV: Poids vif. LCOR: Longueur du corps. ENV: Envergure. LPT: Longueur de la patte. CPT: Ciconférence de la patte. LARBr: Largeur du bréchet. LBec: Longueur du bec. HCrt: Hauteur de la crête. LBrb: Longueur des barbillons; R×S: effet de l'interaction (Région et sexe). ns : $P \geq 0,10$; * $P < 0,1$; ** $P < 0,05$; *** $P < 0,01$; ****: $P < 0,001$; R²: coefficient de détermination. (Mostaganem: mâles= 106, femelles= 145; Relizane: mâles = 102, femelles = 163; Mascara: mâles = 114, femelles = 148).

Les résultats obtenus montrent un dimorphisme sexuel très net en faveur des mâles non seulement pour le poids vifs mais aussi pour l'ensemble des mensurations corporelles sauf pour la largeur du bréchet, celui-ci était significativement plus large (6,7%, $P < 0,001$) chez les femelles. Ainsi, les poules ont donc une meilleure conformation thoracique que les mâles à

l'âge adulte. Il est important de souligner que le poids corporel et le format sont des facteurs de régulation des échanges thermiques. Les animaux plus petits sont en général moins sensibles à la chaleur car ils présentent un meilleur rapport surface/volume, qui facilite l'évacuation de la chaleur corporelle par voie sensible (Dauncey et Ingram 1986). Chez le poulet de chair, un rapport surface/volume plus élevé pour les femelles peut expliquer leur meilleure thermotolérance pendant la phase de croissance (Cahaner et Leenstra 1992). Cependant, un effet inverse, en faveur des mâles, est observé chez des poulets à croissance lente de type label (N'Dri et al. 2007).

Le dimorphisme sexuel a été particulièrement plus prononcé pour la hauteur de la crête et la longueur des barbillons (+ 93,1 % et + 58,7 % respectivement). Ces deux caractères sont très impliqués dans la sélection sexuelle. En effet, la taille de la crête et des barbillons est associée au développement des gonades et de la sécrétion d'hormones sexuelles (Nesheim et al. 1979). Une importante variabilité génétique de la taille de la crête a été décrite entre races et intra-race chez le poulet domestique (Tufvesson et al cités par Moro et al. 2013). De plus, les zones non emplumées (crête, pattes et barbillons) sont considérées comme surfaces potentiellement dissipatrices de chaleur et peuvent donc être utiles pour la sélection de souches thermotolérantes. Une lignée de poules pondeuses, R⁺, sélectionnée sur une forte consommation résiduelle présente un développement particulier de la crête, des barbillons et des tarses facilitant ainsi l'évacuation de la chaleur induite par la thermogénèse alimentaire, et améliore sa thermotolérance (Bordas et Minvielle 1997).

Cependant, le dimorphisme sexuel était modéré pour les caractères liés à la conformation générale de l'animal (entre 11,8 % et 20,9 %) et faible pour la longueur du corps et la longueur du bec (< 6,6 %).

Un effet significatif de la région ($P < 0,001$) est observé pour le poids vif, l'envergure et la circonférence du tarse. Les valeurs les plus élevées ont été trouvées sur les animaux de la région de Relizane suivies par ceux provenant de Mostaganem. A Mascara, les animaux sont généralement plus petits et plus légers. Les variations morpho-pondérales observées chez les poulets locaux peuvent être attribuées, d'une part, aux différences en termes de conduite et de gestion des animaux, des croisements incontrôlés avec des lignées exotiques, la disponibilité de nourritures et de compléments alimentaires (Abdelqader et al. 2008), et d'autre part aux caractéristiques climatiques de chaque région (Rand, James et Power cités par Bulgarella et al. 2007).

L'effet de l'interaction a été hautement significatif ($P < 0,01$) pour les caractères : longueur du corps, longueur du trase, largeur du bréchet et hauteur de la crête. Contrairement aux coqs, les poules de la région de Mostaganem affichent les valeurs les plus élevées pour la longueur du corps et la longueur du tarse. Il en est de même pour la longueur des barbillons mais avec une amplitude moins importante. Pour la largeur du bréchet, c'est l'inverse qui est observé, les coqs de la région de Mostaganem présentent les valeurs les plus élevées tandis que les femelles affichent les valeurs les plus faibles.

2.1.7. Comparaison avec la souche commerciale

2.1.7.1. Paramètres morphométriques

Les paramètres morphométriques mesurés chez les coqs sélectionnés et locaux sont résumés au tableau 12. La souche commerciale manifeste sa supériorité ($P < 0,001$) pour la longueur du corps (21,9 *contre* 18,4 cm) et l'envergure (50,2 *contre* 45,4 cm). Une différence significative ($P < 0,05$) pour la longueur du cou et la longueur des pattes a été également observée entre les deux génotypes avec une supériorité cette fois-ci pour le poulet local. Celui-ci présente des pattes moins épaisses (-0,6 cm ; $P < 0,001$). De plus, la taille de la crête a été très fortement affectée par le type génétique, plus développée chez les coqs locaux (0,8 *contre* 4,9 cm ; $P < 0,001$). Des valeurs moyennes similaires variant entre 3,32 et 4,54 cm pour la hauteur de la crête chez le poulet local ont été rapportés dans d'autres travaux (Mahammi 2014, Moula et al. 2009).

Tableau 10: Mensurations corporelles (cm) chez les coqs de souche améliorée et les coqs de race locale.

Paramètre	Génotype		Valeur de t	Sig.
	Sélectionné	Local		
	Moyenne $\pm$ écart-type			
Longueur du corps	21,9 $\pm$ 1,8	18,4 $\pm$ 1,9	7,09	$P < 0,001$
Envergure	50,2 $\pm$ 2,7	45,4 $\pm$ 3,0	6,57	$P < 0,001$
Longueur du cou	11,4 $\pm$ 1,2	12,2 $\pm$ 1,5	2,45	$P < 0,05$
Longueur du tarse	6,8 $\pm$ 0,8	7,3 $\pm$ 0,8	2,28	$P < 0,05$
Tour du tarse	4,9 $\pm$ 0,5	4,3 $\pm$ 0,6	3,89	$P < 0,001$
Hauteur de la crête	0,8 $\pm$ 0,2	4,9 $\pm$ 1,2	18,5	$P < 0,001$

n=30 pour chaque type génétique.

Tableau 11: Corrélations de Pearson (r)¹ entre les paramètres morpho-pondéraux chez les coqs sélectionnés (au dessus de la diagonale) et les coqs locaux (au dessous de la diagonale).

	PV	LCOR	ENV	LT	TT	LCOU	HCR
PV	1	0,40*	0,36*	0,03 ^{NS}	0,21 ^{NS}	-0,09 ^{NS}	0,08 ^{NS}
LCOR	0,01 ^{NS}	1	0,29 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,14 ^{NS}	-0,29 ^{NS}	0,36*
ENV	-0,16 ^{NS}	0,06 ^{NS}	1	0,20 ^{NS}	-0,18 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,14 ^{NS}
LT	0,22 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1	0,18 ^{NS}	0,06 ^{NS}	-0,04 ^{NS}
TT	-0,02 ^{NS}	0,3 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	0,19 ^{NS}	1	-0,09 ^{NS}	-0,08 ^{NS}
LCOU	0,09 ^{NS}	-0,22 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	0,16 ^{NS}	-0,2 ^{NS}	1	-0,1 ^{NS}
HCR	-0,24 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,12 ^{NS}	1

PV : poids vif ; LCOR : longueur du corps ; ENV : envergure ; LT : Longueur du tarse ; TT : Tour du trase ; LCOU : longueur du cou ; HCR : hauteur de la crête ; ¹Les valeurs sont statistiquement différentes de zéro : * $P < 0,05$; ^{NS} : les valeurs ne sont pas différentes de zéro.

L'examen des corrélations (tableau 13) entre les paramètres morpho-pondéraux mesurés chez les animaux montre que, chez la souche industrielle, le poids vif est modérément lié avec la longueur du corps et l'envergure ($r = + 0,40$ et $+ 0,36$; $P < 0,05$). Une relation positive de même intensité ($r = +0,36$; $P < 0,05$) a été, par ailleurs, soulevée entre la hauteur de la crête et la longueur du corps. Chez les coqs locaux, les valeurs trouvées montrent paradoxalement l'absence de relations entre les paramètres mesurés. Ceci peut éventuellement être expliqué par l'effectif limité disponible ici. Nos résultats recourent malgré tout les observations faites auparavant par Halbouche et al. (2012).

2.1.7.2. Poids vif, poids de la carcasse et poids des organes internes

Les résultats du poids vif des animaux, de la carcasse et des organes internes sont présentés au tableau 14. Les coqs de souche industrielle sont significativement plus lourds que leurs homologues locaux (2593,5 *contre* 1482; $P < 0,001$). Ce fait paraît logique puisque les poulets traditionnels n'ont jamais été sélectionnés pour ce paramètre, il est donc évident que leurs poids soit inférieurs à celui de la souche améliorée. Des valeurs similaires ont été rapportées dans des études précédentes (Moula et al. 2009, Bessadok et al. 2003). De plus, les coqs sélectionnés présentent un meilleur rendement en carcasse (76% *contre* 62%). Ces résultats sont en accords avec la littérature (Olawumi 2011).

Il nous a paru utile, par ailleurs, d'analyser la variabilité phénotypique de la composition anatomique chez le poulet. L'utilisation de cette variabilité peut être très intéressante si elle permet d'améliorer la qualité de la production par la sélection.

Dans la présente étude, la souche commerciale manifeste sa supériorité pratiquement sur l'ensemble des abats consommables (foie : + 48,7 g, $P < 0,001$; cœur : 7,6 g, $P < 0,001$; gésier : +38,8 g, $P < 0,001$; intestin : + 31,9 g, $P < 0,001$). Les travaux de Belabbas (2006) menée sur la souche commerciale Ross 308 montrent que le gésier se développe à une vitesse de croissance maximale (75 %) vers la troisième semaine d'âge pour diminuer ensuite jusqu'à 4,8 % vers la huitième semaine. Des différences significatives toujours en faveur de la souche industrielle ont été également observées pour la proportion du foie (+1%, $P < 0,001$), du gésier (+1 %, $P < 0,05$) et des intestins (+0,4 %, $P < 0,05$).

Tableau 12: Poids vif, poids de la carcasse et poids des organes internes (Moyennes $\pm$ écart-type, g).

Paramètre	Génotype		Valeur de t	Sig.
	Commercial	Local		
Poids vif	2593,5 $\pm$ 203	1482,0 $\pm$ 124,9	25,54	$P < 0,001$
Poids carcasse	1985,0 $\pm$ 196	930,8 $\pm$ 123,2	24,94	$P < 0,001$
Poids foie	77,7 $\pm$ 13,2	29,0 $\pm$ 1,0	17,85	$P < 0,001$
Poids cœur	18,6 $\pm$ 5,6	11,0 $\pm$ 0,9	7,29	$P < 0,001$
Poids gésier	77,7 $\pm$ 14,6	38,9 $\pm$ 8,5	12,6	$P < 0,001$
Poids intestin	93,7 $\pm$ 16,8	61,8 $\pm$ 16,0	7,52	$P < 0,001$
Poids carcasse/ poids vif	0,76 $\pm$ 0,05	0,62 $\pm$ 0,04	11,85	$P < 0,001$
Poids foie/ poids vif	0,03 $\pm$ 0,005	0,02 $\pm$ 0,004	8,41	$P < 0,001$
Poids cœur / poids vif	0,007 $\pm$ 0,002	0,007 $\pm$ 0,001	0,62	$P > 0,05$
Poids gésier/ poids vif	0,03 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,006	2,18	$P < 0,05$
Poids intestins/ poids vif	0,036 $\pm$ 0,008	0,04 $\pm$ 0,01	2,18	$P < 0,05$

n=30 pour chaque type génétique.

Les corrélations phénotypiques entre les caractères pondéraux sont présentées au tableau 15. Il apparaît que, chez les deux génotypes, le poids vif est fortement corrélé avec le poids de la carcasse ($r = 0,75-0,93$; $P < 0,001$) mais pas avec celui des organes internes étudiés. Ce résultat est en désaccord avec les travaux de Venturini et al. (2014). Chez le génotype commercial, le poids du foie est modérément lié au poids du cœur ($r = 0,37$; $P < 0,05$). Cette relation est faible chez le génotype local ($r = - 0,12$; $P > 0,05$).

Tableau 13: Corrélations de Pearson (r) entre les poids vif, le poids de la carcasse et le poids des organes internes chez les coqs sélectionnés (au dessus de la diagonale) et les coqs locaux (au dessous de la diagonale).

	PV	PCARC	PCOEUR	PFOIE	PGES	PINTES
PV	1	0,75 ^{***}	0,27 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,21 ^{NS}	-0,15 ^{NS}
PCARC	0,93 ^{***}	1	0,34 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,22 ^{NS}	-0,33 ^{NS}
PCOEUR	0,32 ^{NS}	0,26 ^{NS}	1	0,37 [*]	0,08 ^{NS}	-0,12 ^{NS}
PFOIE	-0,14 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	1	0,00	0,19 ^{NS}
PGES	-0,26 ^{NS}	-0,22 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1	-0,16 ^{NS}
PINTES	0,07 ^{NS}	-0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	1

PV : poids vif ; PCARC : poids de la carcasse ; PCOEUR : poids du cœur ; PFOIE : poids du foie ; PGES : poids du gésier ; PINTES : poids de l'intestin ; ¹Les valeurs sont statistiquement différentes de zéro : * $P < 0,05$; *** $P < 0,001$; ^{NS} : les valeurs ne sont pas différentes de zéro.

2.1.8. Estimation des corrélations phénotypiques entre les paramètres morpho-pondéraux.

Les corrélations phénotypiques entre le poids vif et les mensurations morphométriques mesurés sur un effectif plus important, soit 778 animaux (322 mâles et 456 femelles) sont données au tableau 16. Les valeurs trouvées sont élevées chez les deux sexes sauf celles concernant la longueur du bec et la longueur des barbillons. Des résultats similaires ont été rapportés dans plusieurs études (Egena et al. 2014, Olawumi 2014, Ayayi 2012). Les fortes corrélations entre le poids vif et certains paramètres de conformation de l'animal présentent un réel intérêt car elles doivent nous permettre de prédire le poids vif à partir de ces mensurations corporelles. Des observations similaires ont été soulevées dans l'étude de Udeh and Ogbu (2011). Les corrélations obtenues chez les mâles et les femelles sont généralement voisines sauf pour certains paramètres où nous avons constaté des différences assez nettes entre les deux sexes ; c'est le cas par exemple des relations entre la largeur du bréchet et les caractères : poids vif, envergure, circonférence du tarse et hauteur de la crête, où les corrélations sont plus intenses chez les femelles que chez les mâles. Chez ces derniers, par contre, les corrélations entre la longueur du corps et les paramètres : poids vif, longueur du trase et hauteur de la crête sont plus fortes que celles trouvées chez les femelles ; on peut donc s'attendre à des différences intra- sexe dans les modèles de prédiction du poids vif.

En effet, Fayeye et al. (2014) a mis en évidence des différences intra-sexe en termes de corrélations entre poids vif et mensuration morphométriques chez la souche commerciale Isa

Brown et le poulet de race locale. Selon le même auteur, les corrélations entre les parties corporelles et le poids vif ont été plus fortes (0,68 – 0,95) chez les coqs que chez les poules. Les travaux menés sur la poule locale dans la zone agroécologique du lac Victoria en Ouganda (Semakula et al. 2011) ont montré que toutes les mensurations corporelles étaient fortement liées au poids vif chez les mâles de 6-8 mois d'âge. Il en est de même chez les femelles sauf pour la longueur du corps et la longueur du tarse.

Tableau 14. Coefficients de corrélations de Pearson entre les paramètres morpho-pondéraux chez les mâles (au-dessous de la diagonale, n=322) et les femelles (au dessus de la diagonale, n=456). Les valeurs en caractère italique sont significativement différentes de zéro ($P < 0,05$)

Traits ¹	PV	LCOR	ENV	LPT	CPT	LARBr	LBec	Hcr	LBrb
PV		<i>0,30</i>	<i>0,97</i>	<i>0,66</i>	<i>0,89</i>	<i>0,72</i>	<i>-0,15</i>	<i>0,60</i>	<i>-0,15</i>
LCOR	<i>0,73</i>		<i>0,31</i>	<i>0,36</i>	<i>0,40</i>	<i>-0,03</i>	<i>-0,07</i>	<i>-0,14</i>	<i>-0,02</i>
ENV	<i>0,80</i>	<i>0,55</i>		<i>0,63</i>	<i>0,90</i>	<i>0,68</i>	<i>-0,17</i>	<i>0,58</i>	<i>-0,14</i>
LPT	<i>0,88</i>	<i>0,76</i>	<i>0,75</i>		<i>0,54</i>	<i>0,36</i>	<i>-0,04</i>	<i>0,30</i>	<i>-0,17</i>
CPT	<i>0,65</i>	<i>0,45</i>	<i>0,68</i>	<i>0,56</i>		<i>0,51</i>	<i>-0,13</i>	<i>0,37</i>	<i>-0,13</i>
LARBr	<i>-0,05</i>	<i>0,08</i>	<i>0,22</i>	<i>0,25</i>	<i>-0,11</i>		<i>-0,18</i>	<i>0,64</i>	<i>-0,14</i>
LBec	<i>-0,13</i>	<i>-0,14</i>	<i>-0,19</i>	<i>-0,13</i>	<i>-0,21</i>	<i>-0,04</i>		<i>-0,11</i>	<i>-0,04</i>
Hcr	<i>0,59</i>	<i>0,43</i>	<i>0,45</i>	<i>0,69</i>	<i>0,14</i>	<i>0,29</i>	<i>-0,06</i>		<i>-0,10</i>
LBrb	<i>0,27</i>	<i>0,21</i>	<i>0,19</i>	<i>0,20</i>	<i>0,16</i>	<i>-0,13</i>	<i>-0,01</i>	<i>0,10</i>	

¹ PV: Poids vif. LCOR: Longueur du corps. ENV: Envergure. LPT: Longueur de la patte. CPT: Ciconférence de la patte. LARBr: Largeur du bréchet. LBec: Longueur du bec. HCr: Hauteur de la crête. LBrb: Longueur des barbillons

2.1.9. Analyse en composantes principales

Nous avons réalisé une analyse en composantes principales sur les matrices de corrélations phénotypiques des 8 parties corporelles mesurées chez les mâles et les femelles (Tableau 17). Les valeurs de l'indice KMO sont de l'ordre de 0,68 et 0,67 pour les mâles et les femelles, respectivement. Ces valeurs sont en tous cas au-dessus de la limite de 0,50 recommandée (Kaiser 1974) pour la fiabilité de l'analyse. En ce qui concerne les communautés, celles-ci varient entre 0,57 et 0,91 pour les mâles et entre 0,55 et 0,92 pour les femelles, indiquant des proportions importantes de la variance totale expliquée par les axes obtenus. Ces résultats sont tout à fait comparables à ceux qui sont cités par les autres auteurs aussi bien chez le poulet local (Egena et al. 2014) que les chez les souches améliorées (Mendes 2011, Ajayi et al. 2012).

En effet, l'interprétation d'un grand nombre de composantes est délicat (Rouvier et Ricard 1965). Dans le cas présent, il semble satisfaisant d'interpréter les résultats des trois composantes de plus grandes variances (à valeurs propres supérieures à 1) et de négliger les autres, d'autant plus que les variances de ces dernières sont relativement faibles par rapport à la variance totale. L'interprétation biologique des composantes dans le cas de mensurations corporelles externes a été donnée en particulier par Tessier et Jolicœur cités par Rouvier et Ricard, 1965).

Les 3 premières composantes obtenues expriment ensemble 71,6 % et 73,2 % de la variance analysée chez les mâles et les femelles, respectivement.

Chez les mâles, la première composante qui rend compte du maximum de la variance totale analysée est fortement représentée par la longueur de la patte, l'envergure et la longueur du corps ; elle peut donc être considérée comme « facteur général de taille ». Des résultats similaires ont été obtenus aussi bien chez le poulet que chez d'autres espèces tels que la dinde et le lapin (Udeh and Ogbu 2011, Shahin and Hassan 2000; Ajayi et al. 2011, Egena, 2014).

La deuxième composante est presque exclusivement représentée par la largeur du bréchet. Ce paramètre présente une corrélation faible avec la première composante ($r = + 0,23$), sa variation est donc relativement indépendante de la taille. Quant à la troisième composante, celle-ci semble être bien représentée par la taille du bec.

Chez les femelles, la première composante est fortement liée à la hauteur de la crête, la largeur du bréchet et l'envergure. La deuxième composante est plutôt déterminée par la longueur du corps et la taille du membre postérieur (longueur et circonférence de la patte) ; elle est donc considérée comme l'équivalent de la première composante chez les mâles. Quant à la troisième composante, celle-ci semble traduire une opposition entre la longueur du bec et la longueur des barbillons. Plus généralement, cette composante peut donc être considérée comme facteur spécifique lié à la taille du bec chez les deux sexes.

Tableau 15. Valeurs propres, coefficients de corrélations entre les variables et les trois composantes de plus grande variance et communautés chez les mâles et les femelles.

Traits ¹	Mâles				Femelles			
	PC1	PC2	PC3	Communautés	PC1	PC2	PC3	Communautés
LCOR	0,80	-0,06	-0,04	0,65	-0,29	0,85	-0,08	0,82
ENV	0,84	0,01	-0,25	0,77	0,71	0,65	-0,03	0,92
LPT	0,94	0,13	-0,03	0,91	0,34	0,70	0,17	0,63
CPT	0,64	-0,37	-0,44	0,74	0,51	0,74	-0,02	0,81
LARBr	0,23	0,81	0,06	0,71	0,86	0,17	-0,03	0,77
LBec	-0,12	-0,05	0,83	0,71	-0,23	-0,09	0,73	0,59
HCr	0,69	0,40	0,21	0,68	0,87	0,00	0,02	0,76
LBrb	0,36	-0,56	0,35	0,57	-0,20	-0,11	-0,71	0,55
Valeur propre	3,860	1,305	1,034		3,424	1,364	1,066	
% variance expliquée par les axes	42,33	16,31	12,93		42,79	17,05	13,33	
% cumulé de la variance expliquée par les axes	42,33	58,64	71,57		42,79	59,84	73,17	

¹LCOR: Longueur du corps. ENV: Envergure. LPT: Longueur de la patte. CPT: Ciconférence de la patte. LARBr: Largeur du bréchet. LBec: Longueur du bec. HCr: Hauteur de la crête. LBrb: Longueur des barbillons

2.1.10. Estimation du poids vif en fonction des mensurations des parties corporelles

Le poids vif constitue certainement le critère le plus important en productions animales. Or, il n'est pas toujours évident de disposer d'une balance en milieu rural, ce qui rend cette détermination très imprécise, tant pour l'éleveur que pour l'ingénieur de terrain (Minvielle 1975). Beaucoup d'études ont eu pour but d'établir des relations mathématiques entre certaines mensurations et le poids vif des animaux, et plusieurs formules de barymétrie ont ainsi été proposées (Delage et al. 1955). Ces dernières doivent être établies en fonction de la race, du sexe et de l'âge. A notre connaissance, il n'existe pas, en Algérie, des travaux ayant fait l'objet d'une publication, sur l'utilisation de la barymétrie chez le poulet local.

L'interprétation biologique de ces équations n'est toutefois pas toujours évidente, vu le nombre parfois élevé de variables analysées (Mendes 2009). De plus, le problème de colinéarité entre les variables considérées pourrait conduire à une identification erronée des mensurations qui devraient être retenues pour l'estimation du poids vif (Sharma 1996). De ce

fait, l'analyse en composante principale devrait nous permettre de résoudre ce problème, en remplaçant les variables originales par un certain nombre de facteurs (composantes principales) indépendants l'un de l'autre (Yakubu et al. 2009, Ogah, 2011).

Chez les mâles, il apparaît que le paramètre longueur de la patte tout seul exprime 78,1 % de la variation du poids vif (Tableau 18). L'inclusion des autres mesures (largeur du bréchet, envergure, hauteur de la crête et longueur du corps) dans le modèle nous a permis d'expliquer 91,3 % de la variance totale.

Chez les femelles (Tableau 19), la largeur du bréchet expliquent 97,2 % de la variation du poids vif. La variation expliquée n'est donc presque pas améliorée en considérant les autres variables (largeur du bréchet, longueur de la patte, diamètre de la patte, hauteur de la crête et longueur du corps). Les travaux de Liyanage et al. (2015) effectués sur le poulet villageois au Sri Lanka, ont montré que le tour de poitrine et la longueur de la patte sont les meilleurs critères pour prédire le poids vif de l'animal. En revanche, Au Nigeria, Yakubu et al. (2009) et Ajayi et al. (2012) ont démontré que la longueur du corps constitue le critère ayant la plus grande contribution dans la variation du poids vif chez le poulet normalement emplumé. Il est tout à fait logique de constater de telles différences, car il existe plusieurs facteurs génétiques et environnementaux pouvant agir sur les caractéristiques des populations. L'importance d'établir des modèles de prédiction spécifiques pour chaque population est donc largement justifiée.

En termes de composantes principales, il paraît que la première composante explique 81,2 % et 80,0 % de la variation totale du poids vif chez les mâles et les femelles, respectivement. La précision du modèle de prédiction est nettement améliorée lorsqu'on considère les autres composantes ($R^2 = 0,84$ pour les mâles et $R^2 = 0,94$ pour les femelles).

Au Nigeria, Egena et al. (2014) estime que la première et la deuxième composante expliquent ensemble 68,4 % de la variation du poids vif chez le poulet local en système extensif. Selon Ayayi et al. (2012), la combinaison de ces deux premières composantes a permis d'expliquer 82,7 %, 78,8 % et 75,5 % de la variation du poids vif chez le poulet normalement emplumé, le Frisé et le Cou nu, respectivement. En étudiant le poids a étudié le poids du poulet à différents âges en utilisant seulement quatre mensurations corporelles, Ibe (1989) a trouvé que les deux premiers axes expliquent ensemble au moins 85 % de la variation totale du poids vif.

Dans cette étude, en tous cas, nous n'avons pas pour objectif spécifique d'obtenir des composantes principales afin de les utiliser dans les programmes d'amélioration génétique. En

effet, des erreurs provenant de l'utilisation des formules de barymétrie existent bien évidemment. Il s'agit, d'une part, des erreurs physiques de pesées et de mensurations, d'autre part, des erreurs statistiques dues à l'ajustement de données individuelles à une équation de régression ; chaque animal ayant une conformation qui lui est propre (Delage et al. 1955). De plus, en terme génétique, chaque niche écologique est certainement régie par sa propre variabilité (Egena et al. 2014). En tout état de cause, il nous a semblé utile de montrer l'intérêt que présentent les axes orthogonaux pour avoir une estimation fiable et meilleure du poids vif tout en éliminant le problème de colinéarité, parfois rencontré en utilisant les variables interdépendantes.

Tableau 16. Modèles de prédiction par régression linéaire multiple du poids vif sur les mensurations corporelles et les composantes principales (PC1-PCi) chez les mâles.

Etape	Variable de prédiction ¹	Intercept	A	S.E.	Probabilité P	R ²
(i) <u>Variables originales</u>						
1	LPT	-749,2	250,4	7,41	<0,001	0,781
2	LPT LARBr	-191,7	271,2 -135,7	10,06	<0,001	0,860
3	LPT LARBr ENV	-1906,3	202,4 -141,2 51,6	4,12	<0,001	0,907
4	LPT LARBr ENV HCr	-1979,5	185,2 -146,1 53,7 47,3	14,45	<0,001	0,910
5	LPT LARBr ENV HCr LCOR	-2452,1	160,4 -142,1 54,7 56,5 20,1	5,73	<0,001	0,913
Equation finale de prédiction						
LBW= -2452,1+160,4 LPT – 142,1 LARBr + 54,7 ENV+ 56,5 HCr + 20,1 LCOR						
(ii) <u>Composantes principales</u>						
1	PC1	1716,35	-152,9	7,62	<0,001	0,812
2	PC1 PC2	1716,35	-152,9 47,8	7,13	<0,001	0,836
3	PC1 PC2 PC3	1716,35	283 -48,8 -31,6	6,70	<0,001	0,843
Equation finale de prédiction						
LBW= 1716+283 PC1 – 48,8 PC2 -31,6 PC3						

¹ PV: Poids vif. HCr: Hauteur de la crête. LBec: Longueur du bec. LCOR: Longueur du corps. LARBr : Largeur du bréchet. CPT: Ciconférence de la patte. LPT: Longueur de la patte. ENV: Envergure PCi : composante principale i. a = coefficient de régression. R²=Coefficient de détermination. S.E.= erreur type du modèle.

Tableau 17. Modèles de prédiction par régression linéaire multiple du poids vif sur les mensurations corporelles et les composantes principales (PC1-PCi) chez les mâles.

Etape	Variable de prédiction	Intercept	<i>a</i>	S.E.	Probabilité <i>P</i>	R ²
(i) <u>Variables originales</u>						
1	ENV	-493	46,3	0,37	<0,001	0,972
2	ENV LARBr	-533,6	43,6 25,8	3,06	<0,001	0,976
3	ENV LARBr LPT	-612,2	40,6 29,2 20,4	2,04	<0,001	0,980
4	ENV LARBr LPT CPT	-579,6	35,8 35,2 21,8 32,4	5,43	<0,001	0,982
5	ENV LARBr LPT CPT HCr	-546,9	33,6 31,3 22,8 42,7 18,4	3,92	<0,001	0,982
6	ENV LARBr LPT CPT HCr LBec	-562,5	33,9 31,5 22,7 42,5 17,0 10,3	3,45	0,003	0,983
Equation finale de prédiction LBW= -562,5+33,9 ENV + 31,5 LARBr + 22,7 LPT + 42,5 CPT + 17,0 HCr+ 10,3 LBec						
(ii) <u>Composantes principales</u>						
1	PC1	1451,5	161.8	7.15	<0.001	0.800
2	PC1 PC2	1451,5	161.8 142.7	2.52	<0.001	0.942
Equation finale de prédiction PV= 1451,5 +161,8 PC1 +142 PC2						

¹ PV: Poids vif. HCr: Hauteur de la crête. LBec: Longueur du bec. LCOR: Longueur du corps. LARBr : Largeur du bréchet. CPT: Ciconférence de la patte. LPT: Longueur de la patte. ENV: Envergure. PCi : composante principale i. *a* = coefficient de régression. R²=Coefficient de détermination. S.E.= erreur type du modèle.

2.2. EFFET DES GENES MAJEURS NA ET F SUR LES CARACTERISTIQUES CORPORELLES, LA CONFORMATION ET LA COMPOSITION DES ŒUFS

2.1.1. Caractérisation morphologique des poules « Cou nu : Frisées ». Comparaison avec les poules normalement emplumées

Les paramètres de poids vif et de mensurations des poules hétérozygotes « Na, F » issus du programme de sélection et des poules et coqs normalement emplumés sont présentés au tableau 20. Les poules portant les caractères Na, F ont accusé une légère perte de poids (-54 g), comparées aux poules normalement emplumées, sans que cette différence soit significative, mais elles ont été beaucoup moins hétérogènes ($P < 0,01$) sur ce paramètre. Elles n'ont pas enregistré de différences significatives sur les paramètres d'envergure et de longueur des ailes. Par contre la longueur du tarse a été nettement plus faible (-3,8 cm, $P < 0,01$), indiquant un animal plus court sur pattes. De même, leur 3^{ème} rémige a été plus courte (-2,2 cm, $P < 0,01$) indiquant un effet de ces gènes, non seulement sur la répartition des plumes et leur densité, mais aussi sur leur longueur.

Tableau 18: Paramètres de poids vif et de mensurations des poules et coqs locaux, et des poules portant les caractères Na, F.

	Population		T	F		T	F
	Poules	Coqs			Poules (Na, F)		
N	122	26			17		
Poids vif (g)	1358 ^b (325)	1926 ^a (398)	7,7**	1,5 ^{NS}	1304 ^b (153)	0,7 ^{NS}	4,5**
N	62	26			17		
Envergure (cm)	63,5 ^b (5,4)	71,6 ^a (4,6)	6.72**	1.34 ^{NS}	63,8 ^b (4,6)	0,2 ^{NS}	1,4 ^{NS}
Long aile	29,6 ^b (2,6)	33,5 ^a (2,9)	6.28**	1.27 ^{NS}	29,7 ^b (2,5)	0,12 ^{NS}	1,1 ^{NS}
Long tarse (cm)	12,5 ^b (1,0)	14,3 ^a (2,0)	5.89**	4.43**	8,7 ^c (2,6)	9,3**	7,3**
Long rémige (cm)	18,0 ^b (1,2)	19,2 ^a (2,1)	3.12**	3.14**	15,8 ^c (2,4)	5,2**	3,9**

^{NS} $P > 0,05$, ** $P < 0,01$, a, b, c : moyennes différentes au test de Student. Ecart-type entre parenthèses.

L'examen des corrélations entre paramètres (Tableau 21) montre paradoxalement qu'il n'y a pas de relation entre le poids vif de l'animal et les autres paramètres morphologiques mesurés, aussi bien chez les poules normales que chez les poules portant à la fois Na et F.

Les paramètres de mensurations du corps (envergure, longueur d'aile, longueur de tarse) sont significativement liés entre eux, aussi bien chez les poules normales que chez les poules Cou nu -Frisées. La longueur de rémige, indicateur d'emplumement, n'a pas été reliée aux autres paramètres de mensuration chez les poules normales, par contre elle a été significativement liée à ces mêmes paramètres chez les poules portant Na et F.

Tableau 19: Corrélations entre les paramètres morpho-pondéraux mesurés chez les poules normales (au-dessous de la diagonale) et chez les poules portant Na, F (au-dessus de la diagonale).

	Poids vif	Envergure	Long aile	Long tarse	Long rémige
Poids vif	-	0,00	0,21 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Envergure	0,20 ^{ns}	-	0,72 ^{**}	0,64 ^{**}	0,75 ^{**}
Long aile	0,18 ^{ns}	0,98 ^{**}	-	0,56 ^{**}	0,56 [*]
Long tarse	-0,18 ^{ns}	0,59 ^{**}	0,58 ^{**}	-	0,65 ^{**}
Long rémige	0,12 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ns : corrélations non significativement différentes de zéro.

Si l'influence du gène Na sur la croissance et la conformation des poules est rapportée par quelques travaux, celle du gène F par contre a été très peu étudiée. Magothe et al. (2010) qui comparent des poules indigènes Kényanes Cou nu ou Frisées avec celles à plumage normales, menées en élevage intensif, rapportent des courbes de croissance et des poids vifs adultes similaires. Deeb et Cahaner (2001) mettent en évidence la supériorité des poules portant Na, en ce qui concerne la croissance sous hautes températures. Mahrous (2008) montre également des performances de croissance supérieures chez les poules et coqs portant Na, F, ou encore Na : F, menées sous hautes températures. Pour l'essentiel, les performances de croissance, de poids vif de ces animaux sont attribuées à la réduction du plumage et aux modifications de sa répartition.

2.1.2. Evaluation de la qualité des œufs

2.1.2.1. Poids entier et conformation externe de l'œuf

Les données sur le poids de l'œuf entier et les paramètres de conformation sont présentées au tableau 22. Le poids moyen des œufs issus de poules portant les caractères Na,F (58,6 g) était en général intermédiaire, mais plus proche de celui des œufs sélectionnés (61,5 g). Plusieurs

auteurs (Akouango et al. 2004, Dafaalla et al. 2005, Fosta 2008, Keambou et al. 2009) ont rapportés des poids inférieurs compris entre 37,9 et 44,9 g sur les œufs locaux dans certaines régions d’Afrique. Moula (2012) a rapporté des poids moyens compris entre 50,2 et 54,3 g sur les œufs de la poule locale en basse Kabylie. L’effet favorable des gènes à effet visible Na et F séparément ou en combinaison sur le nombre et le poids des œufs a été mis en évidence dans plusieurs travaux (Horst 1988, Mathur et Horst 1990, Egahi et al. 2013). Dans tous les cas, les individus portant ces gènes supportent mieux les hautes températures, résistent mieux au coups de chaleur fréquents de la période estivale et y sont plus performants (Bordas et al. 1980, Monnet et al.1980, Halbouche et al. 2012).

Les œufs des génotypes locaux (NaF et NORM) ont été moins larges ($P < 0,01$) que les œufs de la souche industrielle. Aucune différence pour la longueur n’a toutefois été observée entre les œufs de poules NaF et les œufs sélectionnés. Ces derniers, avaient un indice de forme moyen plus élevé (75,8 contre 73,1 et 73,3; $P < 0,05$). Nos résultats sont en accord avec ceux de Keambou et al. (2009) qui rapportent des indices de forme compris entre 72,7 et 73,1 chez les œufs locaux au Cameroun. En revanche, Egahi et al. (2013) ont noté que les œufs issus de poules locales normalement emplumées présentent des indices de forme plus élevés que ceux des œufs de poules homozygotes frisées ou Cou nu. Selon King’ori (2012), la taille, l’âge, l’état sanitaire ainsi que la structure interne de la poule constituent, entre autres, des facteurs pouvant influencer fortement la forme de l’œuf. Globalement, les indices de forme trouvés dans cette étude sur les œufs issus de poules locales sont inférieurs à la norme requise de 75 pour les œufs devant être conditionnés dans les emballages standardisés (Smith 1992).

Tableau 20: Effet du génotype sur le poids de l’œuf entier, la longueur, la largeur et l’indice de forme (Moyenne±écart-type).

	Génotype ¹			F	PPDS
	LT	NORM	NaF		
Paramètres	(n=100)	(n=100)	(n=100)		
Poids total (g)	61,54±4,95 ^a	52,23±6,55 ^c	58,6±4,45 ^b	49,03 ^{**}	3,31 [*]
Longueur (cm)	5,4±0,23 ^a	5,25±0,36 ^b	5,41±0,24 ^a	9,14 ^{**}	0,21 [*]
Largeur (cm)	4,1±0,15 ^a	3,82±0,21 ^c	3,95±0,12 ^b	59,04 ^{**}	0,11 ^{**}
Indice de forme	75,8± 3,2 ^a	73,1± 4,3 ^b	73,3±3,9 ^b	9,44 ^{**}	0,05 [*]

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes. * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ¹LT : Lohmann Tradition, NORM : Normalement emplumé, NaF : Cou nu-frisée

2.1.2.2. Caractéristiques des composants de l'œuf

a. Poids et proportion de la coquille.

La souche commerciale a eu le poids de coquille le plus élevé ($P < 0,05$), sa supériorité par rapport au groupe à plumage normal et le groupe mutant étant respectivement +0,85 et +0,67 g. Moula et al. (2010) ont rapporté que le poids de la coquille des œufs issus de la souche ISA Brown était plus élevé que celui des races locales belges: la Famennoise et l'Ardennaise. Quant à la proportion de coquille, elle varie en moyenne entre 12,5 et 13 % pour l'ensemble des groupes génétiques sans toutefois présenter de différences significatives entre eux ($P > 0,05$). Des valeurs inférieures à celles de la présente étude (9,2 % et 8,7 %) ont été rapportées en Egypte chez les poules hétérozygotes cou nu et les poules à plumage normal, respectivement (El-Safty et al. 2006).

b. Qualité de l'albumen.

Le poids moyen de l'albumen varie de 29 à 37,4 g alors que sa proportion varie de 54,8 à 62 % sur l'ensemble des génotypes. Les œufs de la souche commerciale ont manifesté leur supériorité ($P < 0,01$) pour ces deux caractères par rapport aux génotypes locaux. Moula et al. (2010) rapportent que les œufs des souches améliorées ISA Brown et CoqArd contiennent respectivement 41,8 et 36,2 g d'albumen. Des poids moins élevés compris entre 30,9 et 33,2 g ont été relevés sur les œufs issus de la souche White Leghorn (Sreenivas et al. 2013). Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été constatée entre les œufs locaux et les œufs issus des poules NaF pour ces mêmes caractères. L'effet du génotype n'a pas été significatif sur la hauteur de l'albumen ($P > 0,05$). Nos résultats se distinguent de ceux d'Egahi et al. (2013) qui ont mis en évidence la supériorité des poules Cou nu ou frisées pour la hauteur de l'albumen par rapport aux poules à plumage normal. A l'opposé, Bordas et al. (1980) indiquent que la hauteur de l'albumen chez les individus normalement emplumés est plus élevée que celle des individus Cou nu. Selon le même auteur, le gène Na semble ainsi, associé à la production d'albumen plus fluide.

Le pH de l'albumen varie significativement ($P < 0,01$) de 8,64 chez les œufs de poule NaF à 8,91 chez les ceux des autres groupes. Les valeurs trouvées dans cette étude sont comparables à celles obtenues par Moula et al. (2009) sur la Famennoise, mais supérieures à celles rapportées par Scott et Silversides (2000) sur les œufs frais de ISA Brown et ISA White.

c. Qualité du jaune.

Nos observations relatives à la qualité du jaune mettent en évidence que les poules à la fois Cou nu et Frisées ont, en moyenne, une production de jaune plus élevée (+3,1 g ; $P < 0,01$), suivies par les poules normalement emplumées. De même, le diamètre du jaune est significativement (+0,22 cm; $P < 0,01$) plus grand chez les mutants. Ce constat a été également observé par Egahi et al. (2013). Des valeurs semblables pour le diamètre du jaune ont été rapportées par Alewi et al. (2012) sur la poule locale de Kei et sur les produits de son croisement avec la race Fayoumi et Rhode Island Red. Quoique les 3 génotypes se classent dans le même ordre pour le pourcentage et la hauteur du jaune, il n'y a pas d'écart significatif cette fois, entre les mutants NaF et NORM pour ces deux caractères. Étant liée à un plus fort taux de matière sèche dans l'œuf et aussi à un apport plus important d'acides gras essentiels, une proportion de jaune plus élevée peut être considérée comme favorable du point de vue de la valeur nutritive de l'œuf (Benabdeljelil et Mérat 1995). Selon Beaumont et al. (2010), la proportion du jaune est le critère le plus souvent pris en considération en sélection commerciale. Ce caractère donne une idée sur la « valeur » de l'œuf. D'une manière générale, les proportions de jaune trouvées dans la présente étude sont comparables à celles obtenues par Benabdeljelil et Mérat (1995) chez les souches ISA Brown et le croisement Fayoumi x Leghorn à l'âge de 62 semaines mais inférieures à celles obtenues chez les poules locales normalement emplumées et chez les poules Cou nu dans différentes zones en Ethiopie (Melesse et al., 2010; Melesse et al., 2013). De plus, les œufs issus des poules NaF avaient un pH du jaune moins élevé ($P < 0,05$) que les deux autres groupes. L'effet du génotype sur le pH du jaune a été également mis en évidence par Moula et al. (2009).

d. Ratio V:A.

L'effet du génotype sur le ratio V:A a été hautement significatif ($P < 0,01$). Les génotypes mutants NaF ont manifesté leur supériorité pour ce caractère avec un rapport V:A de 61% suivi par le génotype NORM (58%) et LT (41%). Nos résultats recoupent ceux de Moula et al. (2009) rapportant que les races locales belges (Ardennaise et Famennoise) présentent des ratios V:A plus élevés que ceux de la souche Lohmann (53,9 et 48,9 % contre 43,1 % respectivement). En revanche, chez la race Fayoumi, Mérat et Bordas (1982) ont rapportés des ratios supérieurs compris entre 60,4 % et 63,1 %. L'effet favorable du gène Na sur ce caractère a été démontré par Bordas et al. (1980).

e. La fraîcheur des oeufs

L'indice Haugh a été calculé afin d'évaluer la fraîcheur des œufs dans les différents groupes. Celui-ci varie entre 75,2 et 77,6 sans toutefois présenter des différences significatives entre les trois génotypes ($P > 0,05$). Ces résultats sont en désaccord avec les constatations d' Egahi et al. (2013) qui ont mis en évidence la supériorité des poules locales Nigérianes normalement emplumées par rapport aux poules frisées et les poules Cou nu pour ce caractère. En revanche, Moula et al. (2010) rapportent que les souches commerciales présentent des indices Haugh plus élevés que les races locales. Il semble aussi que les œufs à coquille brune présentent un indice Haugh plus élevé que leurs homologues à coquille blanche (Rajkumar et al. 2009). En revanche, Silversides et Scott (2001) ont estimé que le pH du blanc constitue un meilleur indicateur de la fraîcheur des œufs que la hauteur de l'albumen. Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats et développer éventuellement des modèles spécifiques d'évaluation de la fraîcheur des oeufs pour les différentes espèces de volailles.

f. Teneurs en protéines et en lipides.

Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été relevée entre les groupes génétiques pour la teneur en protéines totales. Isidahomen et al. (2013) ont, par contre, rapporté la supériorité du génotype Na par rapport à ses homologues à plumage frisé et ceux normalement emplumés pour ce même caractère. Quant à la teneur en lipides, nous avons observé une légère tendance à plus de graisses chez les œufs NaF. Les données de cette étude sont inférieures à celles obtenues par Al-Obaidi et al. (2011). Dans tous les cas, plusieurs auteurs mettent en évidence l'influence de la race, l'âge, la ration et la lignée des volailles sur la teneur en lipides et le profil des acides gras (Cherian et Sim 1991, Ahn et al. 1995).

Tableau 21: Effet du génotype sur le poids de la coquille et les caractéristiques internes de l'œuf (Moyenne±écart-type).

Paramètres	Génotype ¹			F	PPDS
	LT (n=45)	NORM (n=45)	NaF (n=45)		
Poids de la coquille (g)	8,1±0,76 ^a	6,58±0,96 ^c	7,43±0,98 ^b	41,46 ^{**}	0,70 [*]
Poids de l'albumen (g)	37,31±4,06 ^a	29±3,79 ^b	30,78±4,34 ^b	72,57 ^{**}	2,11 ^{**}
Poids du vitellus (g)	16,78±1,85 ^b	16,99±2,98 ^b	20±2,91 ^a	28,05 ^{**}	2,04 ^{**}
Albumen (%)	62,02±2,53 ^a	55,26±3,18 ^b	54,82±5,13 ^b	34,24 ^{**}	14,25 ^{**}
Vitellus (%)	25,14±2,03 ^b	31,72±3,12 ^a	32,67±4,87 ^a	40,27 ^{**}	2,47 ^{**}
Coquille (%)	12,85±1,00	13,02±1,13	12,51±1,18	1,66 ^{ns}	-
Ratio (V:A) (%)	0,41±0,05 ^b	0,58±0,09 ^c	0,61±0,14 ^a	34,28 ^{**}	0,078 ^{**}
pH de l'albumen	8,91±0,36 ^a	8,91±0,35 ^a	8,64±0,22 ^b	6,71 ^{**}	0,245 ^{**}
pH du vitellus	6,79±0,43 ^a	6,82±0,58 ^a	6,48±0,2 ^b	5,64 ^{**}	0,26 [*]
Diamètre du vitellus (cm)	3,66±0,15 ^b	3,70±0,17 ^b	3,9±0,23 ^a	17,2 ^{**}	1,46 ^{**}
Hauteur du vitellus (cm)	1,56±0,23 ^b	1,97±0,18 ^a	2,1±0,37 ^a	30,36 ^{**}	2,12 ^{**}
Hauteur de l'albumen (cm)	0,63±0,1	0,58±0,06	0,58±1,43	2,11 ^{ns}	-
Unités d'Haugh	77,57±7,09	76,89±5,18	75,18±10,9	1,03 ^{ns}	-
Composition chimique	(n=15)	(n=15)	(n=15)		
Protéines (%)	13,07±0,8	12,61±0,9	12,56±1,25	1,18 ^{ns}	-
Lipides (%)	9,21±0,48 ^b	9,11±0,87 ^b	10,08±0,93 ^a	10,7 ^{***}	0,7 ^{***}

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes ; * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, ^{ns} $P > 0,05$; ¹LT: Lohmann Tradition, NORM: Normalement emplumé, NaF: Cou nu- frisée

2.1.3. Corrélations phénotypiques entre les paramètres de l'œuf

Les corrélations phénotypiques entre les caractères mesurés sur les œufs chez les trois groupes génétiques sont présentées aux tableaux 24, 25 et 26. Chez les poules locales normalement emplumées (tableau 24), le poids de l'œuf a été positivement corrélé avec le poids de l'albumen (+0,90; $P < 0,01$), le poids de la coquille (+0,69; $P < 0,001$), le poids du jaune (+0,51; $P < 0,01$) et le diamètre du jaune (+0,63; $P < 0,001$). Une corrélation positive entre le poids de la coquille et la hauteur du jaune (+0,60; $P < 0,001$) a été également observée. Chez les génotypes mutants (tableau 25), le poids de l'œuf a été positivement corrélé avec le poids de l'albumen (+0,77; $P < 0,001$), mais négativement corrélé avec la proportion de coquille (-0,71; $P < 0,001$) et le ratio V:A (-0,71; $P < 0,001$). Chez ce groupe, la relation entre le poids de la coquille et le diamètre du jaune a été modérée et hautement significative (+0,56; $P < 0,001$). De plus, la proportion de coquille a été positivement corrélée avec la proportion du jaune (+0,62; $P < 0,001$) mais négativement corrélée avec celle de l'albumen (-0,77; $P <$

0,001). Les différences observées dans cette étude entre le génotype normalement emplumé et le génotype mutant en termes de corrélations phénotypiques pour certains caractères mesurés ont été rapportées par Udoh et al. (2012). Chez la souche commerciale, la relation entre le poids entier et le poids de l'albumen a été plus intense (+0,95; $P < 0,001$) comparée à celle obtenue chez les génotypes locaux. Le poids de l'œuf a été également corrélé avec le poids de la coquille (+0,55; $P < 0,01$), la longueur (+0,67; $P < 0,001$) et la largeur de l'œuf (+0,85; $P < 0,001$). D'une manière générale, les corrélations positives observées entre le poids entier et certains caractères de l'œuf, notamment avec le poids de l'albumen indiquent que la qualité des œufs de la poule locale peut être améliorée par un programme de sélection approprié. Des résultats similaires ont déjà été rapportées dans des études antérieures (Udoh et al. 2012, Scott et Silversides 2000, Sreenivas et al. 2013, Laxmi 2006).

Tableau 22: Corrélations de Pearson¹ entre les paramètres de la qualité de l'œuf mesurés chez les poules normalement emplumées (n=45).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1															
2	0,90	1														
3	0,51		1													
4	0,69	0,55		1												
5	0,34	0,72	-0,57		1											
6	-0,31	-0,67	0,66	-0,32	-0,94	1										
7				0,63			1									
8	-0,33	-0,70	0,62		-0,97	0,99		1								
9			-0,40		0,34	-0,32			1							
10			0,35							1						
11	0,33	0,22		0,60							1					
12	0,63	0,49	0,57									1				
13								0,35					1			
14									0,33					1		
15												0,32	0,34		1	
16									-0,34					0,60	-0,54	1

1: Poids entier ; 2: Poids Albumen; 3: Poids Vitellus; 4: Poids. Coquille; 5: % Albumen; 6: % Vitellus; 7: % Coquille; 8: Ratio V:A (%); 9: Hauteur Albumen; 10: pH Albumen; 11: Hauteur. vitellus; 12: Diamètre vitellus; 13: pH vitellus; 14: Longueur; 15: Largeur; 16: Indice de forme. ¹Toutes les corrélations sont significatives au seuil $P = 0,05$.

Tableau 23: Corrélations de Pearson¹ entre les paramètres internes et externes de l'œuf mesurés chez les poules Cou nu- frisées (n = 45).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1															
2	0,77	1														
3		-0,44	1													
4			0,30	1												
5	0,55	0,95	-0,66	-0,41	1											
6	-0,45	-0,90	0,76		-0,98	1										
7	-0,71	-0,80		0,65	-0,77	0,62	1									
8	-0,71	-0,93	0,40		-0,93	0,88	0,82	1								
9		0,33	-0,48		0,40	-0,44			1							
10								-0,37	1							
11				0,33				0,54		1						
12	0,36		0,66	0,56	-0,39	0,42				0,31	1					
13				-0,41						-0,49	-0,41	1				
14													1			
15		-0,30	0,29		-0,30	0,33							0,35	1		
16													0,75	-0,36	1	

1: Poids entier ; 2: Poids Albumen; 3: Poids Vitellus; 4: Poids. Coquille; 5: % Albumen; 6: % Vitellus; 7: % Coquille; 8: Ratio V:A (%); 9: Hauteur Albumen; 10: pH Albumen; 11: Hauteur. vitellus; 12: Diamètre vitellus; 13: pH vitellus; 14: Longueur; 15: Largeur; 16: Indice de forme. ¹Toutes les corrélations sont significatives au seuil $P=0,05$.

Tableau 24: Corrélations de Pearson¹ entre les paramètres de la qualité de l'œuf mesurés chez les poules Lohmann Tradition (n=45).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1															
2	0,95	1														
3	0,34		1													
4	0,55	0,36	0,34	1												
5	0,63	0,83	-		1											
6	-	-	0,50		-	1										
7		-		0,64	-		1									
8	-	-	0,49		-	0,99	0,44	1								
9									1							
10									-	1						
11											1					
12												1				
13			0,35										1			
14	0,67	0,69			0,56	-	-	-						1		
15	0,85	0,80	0,38	0,42	0,50	-	-	-				0,37	0,45	1		
16													0,70	-	1	

1: Poids entier ; 2: Poids Albumen; 3: Poids Vitellus; 4: Poids. Coquille; 5: % Albumen; 6: % Vitellus; 7: % Coquille; 8: Ratio V:A (%); 9: Hauteur Albumen; 10: pH Albumen; 11: Hauteur. vitellus; 12: Diamètre vitellus; 13: pH vitellus; 14: Longueur; 15: Largeur; 16: Indice de forme. ¹Toutes les corrélations sont significatives au seuil $P=0,05$.

2.2. POSSIBILITÉ DE SÉLECTION DE PONDEUSES POUR L'ADAPTATION À LA CHALEUR PAR LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE.

2.2.1. Températures et surfaces des zones non emplumées chez les pondeuses

Les données relatives aux surfaces et températures des zones nues (crête, pattes et œil) mesurés chez les poules maintenues dans les conditions standards (Contrôle) et celles maintenues dans des conditions de stress thermique (Stress) sont présentées dans le tableau 27. Si on considère l'ensemble des groupes, il paraît que, la température moyenne de l'œil est la plus élevée suivie par celle de la patte. La crête présente la température la plus faible mais avec une variabilité plus importante. Ces paramètres peuvent être considérés comme bons indicateurs du stress causé par la chaleur. De plus, nous avons observé des corrélations faibles à modérées entre les températures de ces zones nues (Tableau 28). La plus forte corrélation est observée entre la température de la crête et celle de la patte ($r = +0,56$, $P < 0,001$).

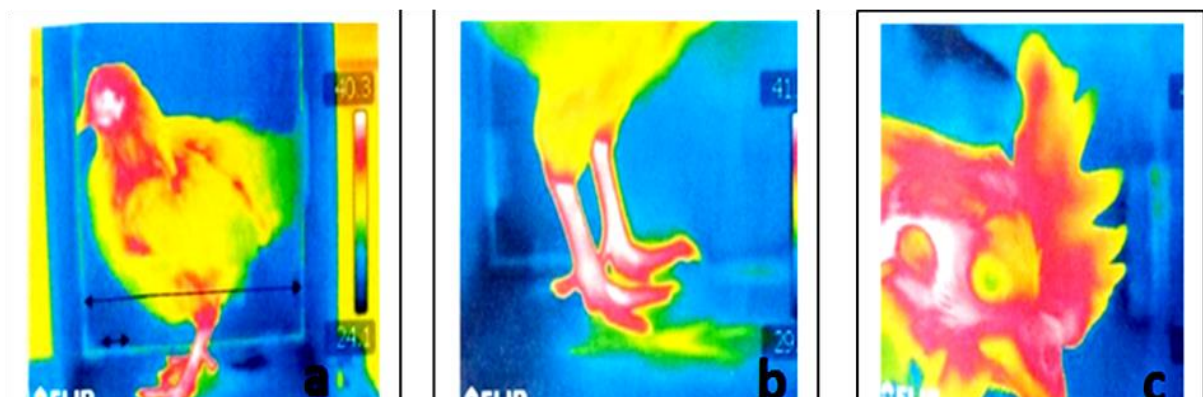


Figure 23: Exemples d'images thermiques prises sur les poules (**a** : corps entier ; **b** : pattes ; **c** : crête)

Tableau 25 : Moyenne $\pm$ Ecart-type et coefficient de variation pour les températures et les surfaces des zones non emplumées par groupe de traitement.

Variable	Traitement	n	Moyenne $\pm$ Ecart-type	CV
Température crête	Contrôle	138	27,91 $\pm$ 3,2	11,5
	Stress	154	37,1 $\pm$ 3,6	9,7
Température patte	Contrôle	256	31,28 $\pm$ 1,22	3,9
	Stress	260	37,85 $\pm$ 2,65	7,0
Température de l'œil	Contrôle	262	34,2 $\pm$ 0,98	2,8
	Stress	278	36,93 $\pm$ 0,91	2,4
Surface de la crête	Contrôle	138	120,23 $\pm$ 98,3	81,7
	Stress	155	167,3 $\pm$ 163,6	97,8
Longueur de la patte	Contrôle	258	6,9 $\pm$ 0,85	12,4
	Stress	260	6,81 $\pm$ 1,08	15,9

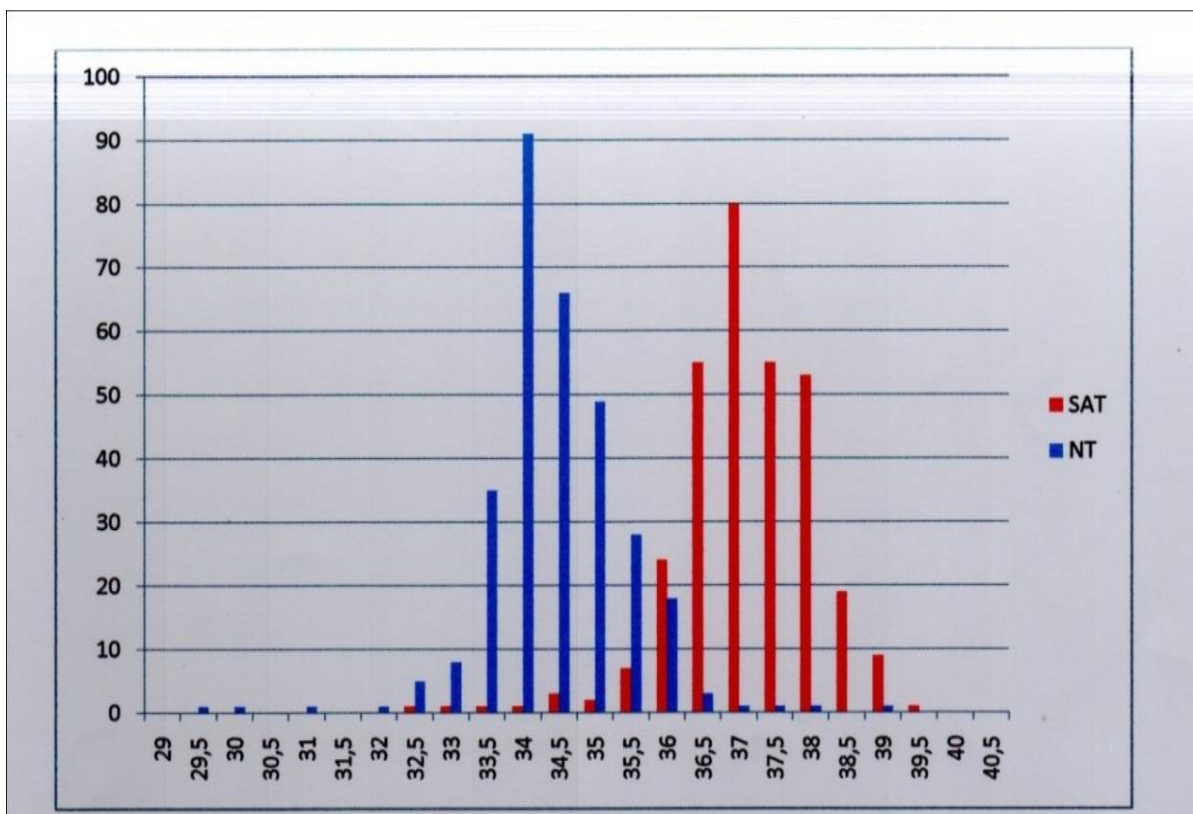


Figure 24 : Histogramme de fréquences de la température de l'œil chez les deux groupes de pondeuses (NT : neutralité thermique ou contrôle ; ST : stress thermique)

Tableau 26 : Corrélations de Pearson entre les températures et les surfaces des zones non emplumées chez l'ensemble des animaux des deux traitements. Les valeurs en gras sont significativement ($P<0,05$) différentes de zéro.

Variable	1	2	3	4	5
1— Température Crête	1,00	0,56*	0,29*	0,00	0,12
2— Température Patte		1,00	0,15*	0,06	-0,04
3— Température Œil			1,00	0,02	0,10
4— Longueur Patte				1,00	0,07
5— Surface Crête					1,00

Tableau 27: Caractéristiques des œufs chez les l'ensemble des animaux des deux traitements.

Paramètre	n	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Poids de l'œuf	366	55,362	4,092	44,400	68,900
Indice de forme	366	3315,340	116,375	2630,160	3666,610
Proportion du jaune	355	26,823	1,678	21,908	32,135
Proportion du blanc	355	64,404	3,002	57,054	82,242
Proportion de la coquille	366	9,360	1,114	5,154	11,630
L* jaune	364	69,256	3,353	51,620	76,720
a* jaune	364	-4,656	1,391	-6,950	5,120
b* jaune	364	49,252	6,570	31,020	73,500
L* coquille	366	61,574	4,034	50,395	77,350
a*coquille	366	17,508	2,667	6,250	24,123
b*coquille	366	30,371	1,787	21,000	34,240
Resistance de la coquille	364	34,205	7,535	7,810	49,670
Unité Haugh UH	364	643,931	113,159	245,000	926,000

3.2.2. Corrélations entre les températures des surfaces non emplumées et les caractéristiques de l'œuf.

Les corrélations phénotypiques entre les caractéristiques de l'œuf, les températures et les surfaces des parties corporelles non emplumées sont groupées dans les tableaux 30 et 31. Chez les pondeuses maintenues en conditions standards (Tableau 30), les paramètres de la qualité de l'œuf étudiés ne sont pas associés aux surfaces et aux températures des zones nues ; exception faite pour la relation modérée observée entre la luminance du jaune et la longueur

de la patte ($r= 0,21$, $P < 0,05$). Par contre, chez les poules soumises au stress thermique (Tableau 31), nous avons observé une corrélation positive ($r=0,18$, $P < 0,05$) entre le poids de la coquille et la température de la patte. Quant à la proportion de la coquille, celle-ci semble être liée à la température de la patte ($r= 0,17$, $P < 0,05$) et à celle de la crête ($r= 0,16$, $P < 0,05$). Une corrélation positive est également observée entre les UH et la surface de la crête ($r= 0,20$, $P < 0,05$).

Tableau 28: Corrélations phénotypiques entre les caractéristiques de l'œuf, les températures et les surfaces des zones non emplumées chez les pondeuses maintenues en conditions standards (neutralité thermique). Les valeurs en gras sont significativement ($P<0.05$) différentes de zéro.

Variable	1	2	3	4	5
Poids de l'œuf	0,02	0,09	0,04	-0,14	0,01
Indice de forme	-0,10	-0,04	-0,07	-0,07	0,06
Longueur de l'œuf	-0,08	-0,02	-0,06	-0,09	0,07
Diamètre de l'œuf	0,08	0,11	0,08	-0,07	0,05
Poids du jaune	0,01	0,01	-0,06	-0,24	0,12
Proportion du jaune	-0,02	-0,10	-0,14	-0,15	0,11
Poids de la coquille	0,09	0,08	0,02	-0,04	0,05
Poids du blanc	-0,01	0,09	0,05	-0,13	-0,07
Hauteur du blanc	-0,08	0,01	-0,11	0,02	0,08
Couleur du jaune « L »	0,00	0,09	-0,04	0,12	-0,02
Couleur du jaune « a »	-0,02	0,02	0,00	0,23	-0,12
Couleur du jaune « b »	-0,02	0,06	-0,02	0,18	-0,08
Couleur de la coquille « L »	0,04	0,03	0,09	0,04	0,04
Couleur de la coquille « a »	-0,03	-0,01	-0,09	-0,10	-0,07
Couleur de la coquille « b »	-0,05	0,02	-0,10	-0,11	-0,11
Résistance de la coquille	0,06	0,08	0,05	0,10	0,07
Unité Haugh	-0,12	0,00	-0,09	0,08	0,09
Proportion du blanc	-0,03	0,04	0,00	-0,06	-0,15
Proportion de coquille	0,11	0,03	0,00	0,05	0,05

1 : Température crête ; 2 : Température patte ; 3 : Température œil ; 4 : Longueur relative patte ; 5 : surface relative crête ; 5 : Surface de la crête

Tableau 29: Corrélations de Pearson entre les températures des surfaces non emplumées et les caractéristiques des œufs chez les pondeuses soumises au stress thermique. Les valeurs en gras sont significativement ($P<0.05$) différentes de zéro.

Variable	1	2	3	4	5
Poids de l'œuf	0,00	0,07	0,04	-0,05	-0,17
Indice de forme	0,01	0,14	-0,03	-0,09	-0,13
Longueur de l'œuf	0,02	0,14	0,00	-0,11	-0,14
Diamètre de l'œuf	0,01	0,04	0,09	-0,13	-0,06
Poids du jaune	-0,02	0,05	0,01	-0,03	-0,15
Proportion du jaune	0,00	-0,02	-0,04	0,02	0,06
Poids de la coquille	0,13	0,18	-0,07	-0,02	-0,11
Poids du blanc	-0,05	0,02	0,05	-0,04	-0,16
Hauteur du blanc	0,00	-0,11	-0,04	-0,02	-0,13
Couleur du jaune « L »	0,06	0,06	-0,01	0,08	-0,03
Couleur du jaune « a »	-0,04	0,05	-0,12	0,04	-0,08
Couleur du jaune « b »	-0,02	0,03	-0,13	0,08	0,10
Couleur de la coquille « L »	-0,04	-0,12	-0,01	0,04	0,18
Couleur de la coquille « a »	0,08	0,12	-0,04	-0,02	-0,17
Couleur de la coquille « b »	0,11	-0,11	0,07	-0,07	-0,04
Résistance de la coquille	0,10	0,10	-0,02	-0,03	-0,06
Unité Haugh	0,00	-0,12	-0,04	0,02	0,20
Proportion du blanc	-0,12	-0,08	0,02	-0,06	-0,08
Proportion de coquille	0,16	0,17	-0,10	0,00	-0,03

1 : Température crête ; 2 : Température patte ; 3 : Température œil ; 4 : Longueur relative patte ; 5 : surface relative crête ; 6 : Surface de la crête

3.2.3. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'analyse factorielle des correspondances indique que le plan F1-F2 décrit 18,28 % de la variabilité totale (Tableau 32). La température de la patte, de la crête, et celle de l'œil contribuent le plus (42 %) à l'axe F1. Sur l'axe F2, à 46,2% se sont les variables: proportion du jaune, proportion du blanc et proportion de la coquille. Le plan F1-F2 (Figure 23) nous a permis de distinguer non seulement les deux groupes de traitements thermiques mais aussi les deux lignées. Le groupe « Contrôle » se situant des côtés négatifs de F1 et de F2 correspond aux animaux ayant dans l'ensemble des températures de surfaces inférieures à 43°C, une proportion de coquille supérieure à 9,9 % et un indice a^* du jaune supérieur à -4,13. Le groupe

« Stress » se situant des côtés positifs de F1 et de F2 comporte, quant à lui, les animaux caractérisés par des températures des surfaces nues généralement supérieures à 36°C, des indices a^* et b^* du vitellus inférieures à -5,44 et 46,2 respectivement, et qui ont perdu en moyenne 50 g de leur poids vif.

Selon N'Dri (2006), la résistance à la chaleur est un caractère héritable. La plupart des hérabilités font référence à la résistance à un coup de chaleur chez les volailles. Ces hérabilités, modérées à fortes, sont confirmées par le succès des expériences de sélection divergente pour la résistance aux coups de chaleur. Cette divergence pour la résistance à la chaleur est associée à une variabilité d'autres paramètres tels que le poids des œufs, la température corporelle et la diminution du poids corporel. Wilson et coll. (1975a), ont constaté que la lignée sensible pond les œufs les plus gros (56,5 g *contre* 54,3 g) avec une qualité interne (unité Haugh et gravité spécifique) semblable pour les deux lignées. La chaleur peut entraîner également une réduction de l'épaisseur et le poids de la coquille qui s'accompagne souvent d'un fort taux de casse des œufs. Selon Bordas et Minvielle (1997), le pourcentage d'œufs cassés est de 10 à 37 % plus important au chaud qu'à température normale. Une perte de poids vif plus importante a été aussi observée dans la lignée résistante par rapport à la lignée sensible (7,8 % *contre* 6,9 %) (Wilson et coll. 1975a).

Tableau 30 : Contributions des 2 premiers axes de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et des variables¹ principales sur chaque axe à la variation totale.

Axes		Les variables principales (% de contribution aux axes)
Rang	Variation (%)	
1	12,28	Température de la crête (12,08)
		Température de l'œil (11,08),
		Température de la patte (10,94)
2	6,00	Proportion du blanc (18,87)
		Proportion du jaune (17,1);
		Proportion de la coquille (10,23)

¹Variables expliquant plus de 10% de la variation totale des axes.

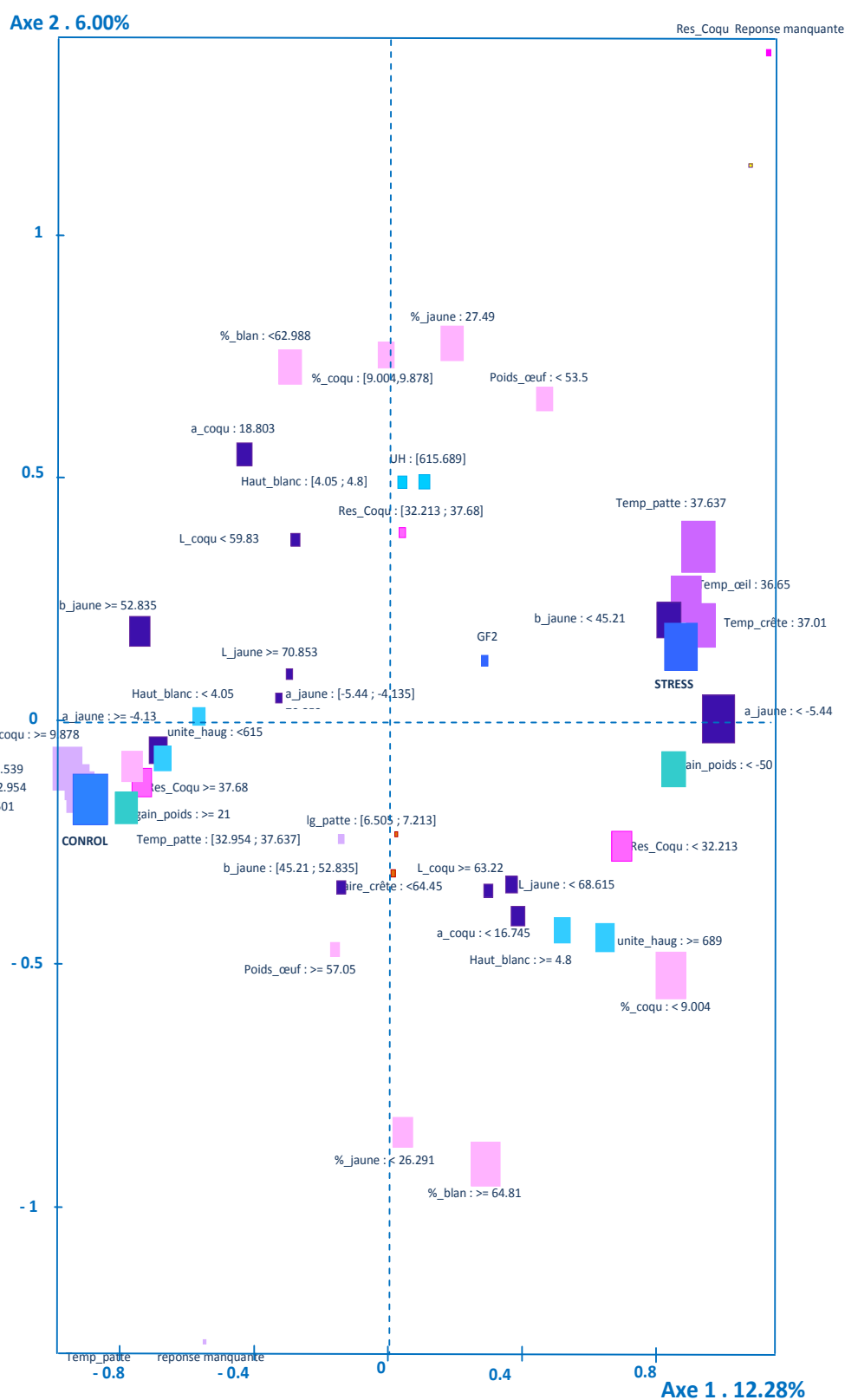


Figure 6: Représentation des variables de température, des surfaces des zones nues et les caractéristiques des œufs dans le plan F1-F2

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'objectif général de notre étude a consisté à la caractérisation phénotypique des populations du poulet local dans la zone du Nord-Ouest algérien pour leur meilleure connaissance dans le but non seulement de leur amélioration génétique afin de produire des sujets plus productifs dans des conditions villageoises de production, mais aussi dans un contexte de réchauffement climatique, par la création de souche adaptée à la chaleur.

En effet, malgré la bonne valorisation des produits des poules locales, qui sont très appréciés par le consommateur, l'aviculture villageoise demeure malheureusement handicapée par une faible productivité, un approvisionnement irrégulier de l'eau et d'aliment, la précarité des habitats et une forte pression pathogène.

Par ailleurs, l'inventaire phénotypique effectué sur les populations avicoles locales dans certaines régions du Nord-Ouest algérien, outre le fait qu'il procure une information nécessaire à la connaissance de ces populations, a permis de souligner la grande diversité génétique existante et le potentiel de son développement. Néanmoins, nous avons constaté que les fréquences de certains caractères particuliers d'intérêt zootechnique, notamment ceux impliqués dans l'adaptation à la chaleur tel le phénotype frisé sont extrêmement faibles. Ainsi, ces animaux peuvent être déclarés comme ressource génétique en voie d'extinction.

Par ailleurs, la caractérisation morpho-pondérale a montré un dimorphisme sexuel prononcé, naturel, chez les populations avicoles locales. Le poids des animaux adultes, assez faible, témoigne du fait que l'aviculture familiale est pratiquée surtout pour obtenir des œufs. Ainsi, les coqs et poules en divagation ne sont pas engraisés pour leur viande. Il apparaît que de meilleures performances peuvent être obtenues chez les poules locales si les contraintes relatives aux conditions du milieu sont levées et que la formation des éleveurs soit assurée. De plus, la réussite de la filière avicole devra passer par l'organisation structurelle de la production et de la commercialisation afin de mieux rentabiliser les activités des éleveurs et leurs efforts sous l'appui notamment des autorités publiques concernées.

Dans cette étude, l'analyse en composantes principales nous a permis de simplifier les matrices de corrélation en réduisant considérablement le nombre de variables d'origine sans perte d'information. Plus généralement, les trois premières composantes retenues chez les mâles comme chez les femelles semblent être suffisantes pour expliquer les variations morphologiques des animaux. Toutefois, l'interprétation des composantes peut, bien évidemment, être différente suivant la nature et le nombre des variables étudiées. Ces résultats

fournissent malgré tout une information utile pour voir comment il serait possible de modifier cette conformation par la sélection afin de proposer, aux éleveurs algériens, des souches adaptées, de qualités acceptées et appréciées par le consommateur.

Il sera néanmoins, nécessaire de compléter cette étude par la caractérisation phénotypique et moléculaire des races de poules locales dans d'autres régions du pays, le grand sud en particulier. Il reste également à effectuer un travail « taxonomique » important dans le but d'harmoniser les noms vernaculaires locaux attribués aux animaux selon certains caractères de couleur, d'emplumement ou de conformation particulière.

Les formules baryométriques sous formes d'équations linéaires proposées ici pour le poulet local à l'âge adulte devront être complétées et confirmées par d'autres études qui nous permettront un choix raisonné des mensurations les plus intéressantes à considérer et les utiliser, par conséquent de manière satisfaisante lors des études des performances pondérales du poulet en croissance.

L'intérêt du programme de sélection mis en place, outre le fait qu'il répond à une préoccupation de valorisation de la ressource génétique locale, réside aussi dans sa faisabilité, s'agissant de travailler sur des caractères monogéniques qualitatifs facilement maîtrisables, ayant un impact économique certain pour les pays chauds.

Dans la présente étude, nous avons relevé que la présence des deux caractères Na et F en combinaison permettent une augmentation de plusieurs grammes du poids moyen des œufs, une meilleure qualité du jaune et un bon potentiel d'apport lipidique. Ces résultats peuvent être intéressants pour les industriels de l'agroalimentaire. Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour estimer l'effet des allèles Na et F en combinaison, particulièrement sur la solidité des coquilles.

Par conséquent, il est prématuré, bien entendu, de conclure quant à une utilisation pratique éventuelle des gènes Na et F pour la production d'œufs en climat chaud. Des essais ultérieurs portant notamment sur des animaux homozygotes, à des températures plus élevées et sur des effectifs plus importants sont justifiés pour évaluer de façon plus précise les avantages apportés par cette structure génétique sur les caractères de production d'une manière générale.

Dans tous les cas, ces animaux peuvent être utilisés dans des croisements visant à améliorer la thermotolérance des élevages avicoles fermiers voire industriels.

Bien que le mécanisme physiologique des variations de température ne soit pas encore pleinement compris, la thermographie infrarouge s'affiche déjà comme une technique d'étude du stress chez l'animal particulièrement intéressante aussi bien pour sa finesse, sa justesse, sa simplicité d'utilisation, son faible coût que l'absence de biais qu'elle permet, par son absence, de contraintes sur les individus. En effet, la thermographie infrarouge est en nette expansion, les applications commerciales futures de cette technique pourraient contribuer à améliorer les performances et le bien-être des animaux, et permettre ainsi à l'industrie de la volaille à relever les défis futurs posés par le changement climatique mondial et la nécessité de sources protéiques bon marché (viande et œufs) pour la population croissante de la planète.

En définitif, nous proposons d'élargir l'utilisation de la caméra infrarouge sur les autres filières des productions animales pour mieux comprendre le comportement des animaux et pour faire des recommandations en aménagement afin d'apporter un plus grand confort et de mieux produire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBIOGRAPHIQUES

A

Abbott U.K., Asmundson V.S. (1962) Response to selection under severe environmental stress. *12th W. Poult. Cong.*, Sydney, Australia, 10-18 August 1962, 30-36.

Abdelqader A., Wollny C.B.A and Gauly M. (2008) On-farm investigation of local chicken biodiversity and performance potentials in rural areas of Jordan, *Anim. Genet. Resour. Inform.*, 43, 49-58, doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S1014233900002728>

Abdel-Rahman A., El-Hammady H.Y (2000) Effect of frizzle (F) and naked neck (Na) genes on productive adaptability of German genotypes as compared with local chickens under subtropical conditions. *Assiut J. Agric. Sci.* 31, 189-207.

Abubakar MB, Ambali AG, TAMJDO T, (2007) Elevage de poulets villageois: contraintes limitant la production de poulets villageois dans certaines zones du Nigeria et du Cameroun. *Aviculture Familiale* 17 (1 et 2): 59-64.

Agriculture and Agri-Food Canada (2006) *Recherche sur le mieux-être de la volaille au Canada*, Station de recherches d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Ahn D.V., Sunwoo H.H., Wolfe F.H et Sim J.S. (1995) Effects of dietary alpha linolenic acid and strains of hen on fatty acid composition, storage stability, and flavor characteristics of chicken eggs. *Poult.Sci.*, 74, 1540-1547.

Ajayi F.O., Ejiofor O and Ironke M. O. (2008) Estimation of body weight from linear body measurements in two commercial meat-type chickens, *Global Journal of Agricultural Sciences*, 7, 57-59.

Ajayi O.O., Yakubu A., Jayeola O.O., Imumorin I.G., Takeet M. I., Ozoje M.O., Ikeobi O.N., and Peters S.O. (2011) Multivariate analysis of sexual size dimorphism in local turkeys (*Meleagris gallopavo*) in Nigeria, *Trop. Anim. Health Prod.*, 44, 1089-1095, doi: 10.1007/s11250-011-0044-6.

Ajayi O.O., Adeleke M.A., Sanni M.T., Yakubu A., Peters S.O., Imumorin I.G, Ozoje M.O., Ikeobi C.O and Adebambo O.A. (2012) Application of principal component and discriminant analysis to morpho-structural indices of indigenous and exotic chickens raised under intensive

management system, *Trop. Anim. Health Prod.*, 44, 1247-1254, doi: 10.1007/s11250-011-0065-1

Akouango F., Mouango F et Ganongo G. (2004) Phénotypes et performances d'élevage chez des populations locales de volailles à Brazaville ». *Cahiers Agriculture.*, 13 (3), 257- 262.

Al-Batshan H.A., Hussein E.O.S. (1999) performance and carcass composition of broilers under heat stress: 1. The effect of dietary energy and protein. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12, 914-922.

Al-Batshan H.A. (2002) Performance and heat tolerance of broilers as affected by genotype and high ambient temperature. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19, 1502-1506.

Albrecht H.N. (2011) Reproductive Soundness and Egg Quality in Chickens Selected for Low and High Antibody Response ». Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Alewi M., Melesse A et Teklegiorgis Y. (2012) Crossbreeding Effect on Egg Quality Traits of Local Chickens and Their F1 Crosses With Rhode Island Red and Fayoumi Chicken Breeds Under Farmers' Management Conditions ». *J. Anim. Sci. Adv.*, 2 (8), 697-705.

Alipanah M., Deljo J., Rokouie M et Mohammadnia R. (2013) Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in Khazan layers ». *Trakia Journal of Sciences.*, 2, , 175-180.

Allouche N, Dorbane Z, Kazi-Aoual S et Boudouma D. (2015). Evaluation préliminaire de l'ingestion et de la digestibilité du maïs ou du tourteau de soja et de la consommation d'eau chez le coq local soumis à température ambiante élevée. *Livestock Research For Rural Development*, 27 (7).

Al-Obaidi F.A., Al-Shadeedi S.M.J et Al-Dalawi R.H. (2011) Quality, Chemical and Microbial Characteristics of Table Eggs at Retail Stores in Baghdad ». *Int. J. Poult. Sci.*, 10 (5), 381-385.

Ambali A. G., Abubakar M. B. and James T. E. (2003) An assessment of poultry health problems in Maiduguri, Borno State, Nigeria. *Trop. Vet.*, 21(3): 138-145.

Anderson S. (2004) A review of environmental on animal genetic resources. Etude thématique sur les ressources génétiques animales. FAO.

Angrand A. (1986) Contribution à l'étude de la qualité commerciale des œufs de consommation de la région de Dakar (Sénégal) ». Thèse de doctorat, E. I. S. M.Y, 158 pp.

Anonyme (1995) La race Ardennaise en néerlandais). *Avicultura*, 9.

AOAC. (1990) *Official Methods of Analysis*». 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C, 1298 p.

Arad Z., Marder A.J. (1982) Comparative thermoregulation of four breeds of fowls (*Gallus Domesticus*), exposed to a gradual increase of ambient temperatures. *Comp.Biochem. Physiol.* 72, 179-184.

Arjona A., Enbow D., Weaver W., (1988). Effect of heat stress early in life on mortality of broilers exposed to high environmental temperatures just prior to marketing. *Poult. Sci.*, **67**: 226-231.

Assan, N. (2013) Bio prediction of body weight and carcass parameters from morphometric measurements in livestock and poultry, *Scientific Journal of Review.*, 6, 140-150.

Aviforum. (1999) Sélection et performance des animaux hybrides. In *Publications Techniques pour l'Aviculture*, Doc. PDF, 12 pp.

Ayalew, W et Rowlands, J. (eds.). (2004). Design, execution and analysis of the livestock breed survey in Oromiya Regional State, Ethiopia. Addis-Abeba et Nairobi, Oromiya Agricultural Development Bureau et Institut international de recherches sur l'élevage.

B

Babilé R. (2006). La sélection avicole. INP-ENSAT, France, Doc. Powerpoint, 32 pp.

Banga-Mboko H, Bordas A, Minvielle F, Leroy P.L (2003) Réponse à la chaleur et à l'alimentation calcique séparée de poules pondeuses sélectionnées sur la consommation alimentaire résiduelle. *Ann. Méd. Vé*, 147, 51-58.

- Barua A., Howlider M.A.R., Yoshimura Y. (1998) A study on the performance of Fayoumi, Rhode Island Red and Fayoumi x Rhode Island Red chickens under rural condition of Bangladesh. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 11, 635-641.
- Bateson W., Punnett R.C. (1906) Experimental studies in the physiology of heredity. *Poult. Rep. Evol. Com. R. Soc.* III.
- Banerjee A.K., Bordas A., Mérat P. (1982) Sex linked dwarf (*dw*) gene in White Leghorn laying hens under normal or hot temperature. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 14, 135-160.
- Bateson W. (1902) Experiments with poultry. *Poult. Rep. Evol. Com. R. Soc.*, 1, 87-124.
- Beaumont C., Guillaumin S., Geraert P.A., Mignon-Grasteau S., Leclercq B. (1998) Genetic parameters of body weight of broiler chickens measured at 22 degrees C or 32 degrees C. *Br. Poult. Sci.* 39, 488-491.
- Beaumont C., Calenge F., Chapuis H., Fablet J., Minvielle F et Tixier-Boichard M. (2010) Génétique de la qualité de l'œuf ». *INRA.Prod.Anim.*, 23 (2), 123-132.
- Belabbas, H (2006) Dynamique de croissance des organes chez le poulet de chair. Mémoire de Magister, Université de Batna, Algérie.
- Belaid D. (2015) L'élevage avicole en Algérie, Collection dossiers agronomiques.
- Benabdeljelil K., Mérat P. (1995) Comparaison de types génétiques de poules pour une production d'œufs locale: F1 (Fayoumi x Leghorn) et croisement terminal ISA au Maroc ». *Annales de zootechnie.*, 44, 313-318.
- Berradi H., Cassy S., Taouis M. et Rideau N. (2003) Caractérisation du gène de la glucokinase hépatique chez le poulet et le canard. Laboratoire de biologie cellulaire et moléculaire. Station de recherche avicole, INRA.
- Bessadok A., Khochlef Imen et El Gazzah M. (2003) Etat des ressources génétiques de la population locale du poulet en Tunisie. *Tropicultura*, 21(4), 167-172.
- Blesbois, E., I. Grasseau, and F. Seigneurin. (2005) Membrane fluidity and the ability to survive cryopreservation in domestic bird spermatozoa. *Reproduction* 129:371–378.
- Blum J.C. (1968) Mode d'action de l'isoriboflavine sur l'utilisation de la vitamine b2 par la poule pondeuse. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 8(1), 87-93.

Boas E.P et Landauer W. (1933) The effect of evaluated metabolism on the hearts of frizzle fowl Am. J. Med. Sci, 185, p. 654-665.

Bonnet S.P., Geraert P.A, Lessire M., Carré B., Guillaumin S. (1997) Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. *Poult. Sci.* 76, 857-863.

Bordas A., Monnet L.E et Mérat P. (1980) Gène Cou nu, performances de ponte et efficacité alimentaire selon la température chez la poule ». *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 12(4), 343- 361.

Bordas A., Brillard J.P., Coquerelle G., Mérat P., Monvoisin J.L. (1992) Influence du gène « Cou nu » et de la fréquence des inséminations sur les performances de reproduction des poules selon la température ambiante. *Arch. Geflügelkfd.* 57, 136-141.

Bordas A., Minvielle F. (1997) Réponse à la chaleur de poules pondeuses issues de lignées sélectionnées pour une faible (R-) ou forte (R+) consommation alimentaire résiduelle. *Genet. Sel. Evol.* 29, 279-290.

Bottje W.G., Harrison, P.C., Grishaw, D. 1983. *Poult. Sci.*, 62: 1386-1387.

Boudouma D et Tefiel H. (2012). Performance du poulet de chair acclimaté et élevé en conditions chaudes dans le Nords de l'Algérie. *Livestock Research for Rural Development*, 24 (5).

Brelaz M. (2011) Intérêts et limites de la thermographie infrarouge en tant qu'outil diagnostique en aviculture, Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire de Toulouse, ENVT, 116 p

Buckland R.B ; Hawes R.O. (1968) Comb type and reproduction in the male fowl: semen characteristics and testes structure. *Poultry Science*. 47(2): 704-710.

Buckland R.B., Wilcox F.H and Shaffner, C.S. (1969) Influence of homozygosity for rose comb on fumarase, aconitase, isocitric dehydrogenase and malic dehydrogenase activity in spermatozoa of the domestic fowl (*Gallus domesticus*), *J. Reprod. Fertil.*, 18, 89-95, doi: 10.1530/jrf.0.0180089.

Bulgarella M., Wilson R.E., Kopuchian C., Valqui T.H, and McCracken K.G. (2007) Elevational variation in body size of crested ducks (*Lophonetta specularioides*) from the central high Andes, Mendoza, and Patagonia, *Ornitol. Neotrop.*, 18, 587-602.

Burmeister, A., Jurkschat, M., & Nichelmann, M. (1986). Influence of stocking density on the heat balance in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Journal of Thermal Biology*, 11(2), 117-120.

C

Castello J.A. (1990). Optimisation de l'environnement des poulets de chair dans les conditions climatiques de l'Espagne. In : Sauveur B. (ed.). *L'aviculture en Méditerranée*. Montpellier : CIHEAM, p 139-151 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 7).

Cahaner A., Deeb N., Gutman M. (1993) Effects of the plumage-reducing naked-neck (Na) gene on the performance of fast-growing broilers at normal and high ambient temperatures. *Poult. Sci.* 72, 767-775.

Cahaner A., Yunis R., Deeb N. (1994) Genetics of the feathering and heat tolerance in Broilers. IXe Conférence Avicole Européenne, UK Branch of WPSA, Glasgow, 2, 67-70.

Cahaner A., Deeb N. (2004) Breeding broilers for adaptability to hot conditions. *22th W. Poult. Congr.*, Istambul, Turkey, 8-13 June 2004, CD-ROM communication G1-1.

Chabeuf N. (1990) Disease prevention in small holder village poultry production in Africa. In: CIA Seminar Proceeding Vol. I, Small holder Rural Poultry Production, Thessalonica, Greece, 129-137.

Chaffar K (2012) Thermographie active appliquée à la caractérisation in situ de parois de bâtiment, Thèse de doctorat, Université d'Artois, France.

Chatterjee R.N. (2009) Effects of genotype and age on egg quality traits in naked neck chicken under tropical climate from India». *Int. J. Poult. Sci.*, 8, 1151-1155.

Chepete, H. J., & Xin, H. (2001). Heat and Moisture Production of Poultry and Their Housing Systems - A Literature Review. Paper presented at the 6th International Symposium, Louisville, Kentucky, USA.

Cherian G et Sim J.S. (1991) Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks ». *Poult. Sci.*, 70, 917-922.

Chiron G (2013) Identification des déperditions de chaleur dans les bâtiments avicoles par thermographie infra rouge, ITAVI, France.

Ciewe Ciake S.A. (2006). Evaluation de l'effet de la nature et du niveau de la matière grasse alimentaire sur la productivité du poulet de chair. Thèse Doct. Sci. Ecole Inter-états des sciences et Médecine Vétérinaires. (E.I.S.M.V.), Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Clerjaud L. (2010) Méthode d'hétérodynage pour la caractérisation de propriétés thermophysiques par thermographie infrarouge dans une large gamme spatiale et temporelle. Thèse de doctorat en thermique, Bordeaux. p 144.

Cochez L.P. (1951) Un facteur d'infertilité équilibré par la sélection chez la Wyandotte blanche. C.R. 9^e Cong. Mondial Avic., Paris (Ed. Société Centrale Aviculture de France), Vol. 1, 122-128.

Collin A, Picard M. and Yahav S. (2005a) The effect of duration of thermal manipulation during broiler chick embryogenesis on body weight and body temperature of post-hatched chicks. *Anim. Res.* 54, 105–111

Collin A, Shinder D., Mercierand F., Tessereau Sophie, Picard M. et Yahav S. (2005b) Les manipulations thermiques pendant l'embryogenèse affectent la température corporelle et la croissance du poussin. *6^{èmes} Journées de la Recherche Avicole*, St Malo, 30 et 31 Mars 2005, 67-71.

Collin A, Bedrani L, Loyau T, Grasteau S, Metayer-C S, Praud C, et al (2011). Acclimatation des volailles au chaud et au froid pendant l'incubation. *Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole*, Tours, 29 et 30 mars 2011.

Cook W. T, and Siegel P. B. (1973) Interrelationship of comb loci and mating behaviour in chickens. *Can. Jour. Genet. Cytol.* 15: 533.

Coquerelle G. (2000) Les poules: diversité génétique visible. INRA Ed., Versailles, France, 181 p.

Crawford, R.D. & Merritt, E. S. (1963) The relationship between rose comb and reproduction in the domestic fowl. *Can. J. Genet. Cytol.* 5: 89.

Crawford R. D., Smyth J.R. (1964) Studies on the relationships between fertility and the genes for rose comb in the domestic fowl. *Poult. Sci.* 43, 1018-1026.

Crawford R. (1990) Poultry breeding and genetics, Elsevier, Amsterdam, 1123 p.

Crawford, R.D. (Ed.) (1990) Origin and history of poultry species, In Poultry breeding and genetics, (Ed. Crawford, R.D.), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands

D

Dafaalla M.M., Ibrahim A.Y., Kheir M.A., Jin-yu W et Hussein H.M. (2005) Comparison of the Egg Characteristics of Different Sudanese Indigenous Chicken Types ». *Int. J. Poult. Sci.*, 4 (7), 455-457.

Davenport C.B. (1906) Inheritance in Poultry. *J. Exp. Zool.*, 13, 1-26.

Deaton J. W, Mcnaughton J. L and Lott B. D. (1982). Effect of Heat Stress on Laying Hens Acclimated to Cyclic *Versus* Constant Temperatures. *Poultry Science* 61: 875.

De Basilio V. (1999) L'acclimatation précoce et l'alimentation alternée augmentent la résistance des poulets de chair mâles soumis à un stress thermique. Rapport de DEA, ENSA de Rennes, 23 p.

De Basilio V, Oliveros I, Vilariño M, Diaz J, Leon A, Picard M (2001). Intérêt de l'acclimatation précoce dans les conditions de production des poulets de chair au Venezuela. *Revue Élev. Méd. vét. Pays Trop.*, 2001, 54 (2) : 159-167

De Basilio V., (2002). Acclimatation précoce des poulets de chair au climat tropical. Thèse Doct. Sci., Ecole nationale supérieure agronomique, Rennes, France, 147 p.

De Basilio V, Picard M. (2002) La capacité de survie des poulets à un coup de chaleur est augmentée par une exposition précoce à une température élevée, *INRA Prod. Anim.*, 15(4), 235-245.

Deeb N, and Cahaner A. (2001). Genotype-by-Environment Interaction with Broiler Genotypes Differing in Growth Rate. 1. The Effects of High Ambient Temperature and Naked-Neck Genotype on Lines Differing in Genetic Background. *Poultry Science*, 80, 695-702.

Delage J, Poly J et Vissac B. (1955). Étude de l'efficacité relative des diverses formules de barymétrie. Applicables aux bovins. Annales de zootechnie (III), pp 219-231.

Dessie, T. 2003. Phenotypic and genetic characterization of local chicken ecotypes in Ethiopia. PhD thesis. Berlin, Germany: Humboldt-Universität zu Berlin.

Desta, T.T., Dessie, T., Bettridge, J., Lynch, S.E., Melese, K., Collins, M., Christley, R.M., Wigley, P., Kaiser, P., Terfa, Z., Mwacharo J.M., and Hanotte O. (2013) Signature of artificial selection and ecological landscape on morphological structures of Ethiopian village chickens, *Animal Genetic Resources.*, 52, 17-29, doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S2078633613000064>,

Dunn L.C., Jull M.A. (1927) On the inheritance of some characters of the Sylky fowl. *J.Genet*, 19, 27-63.

Durmus I, Kamanli S (2015) Effects of Cold and Heat Stress on Egg Quality Traits of a Newly Developed Native Hybrid Layer. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(6): 444-447.

Durozey M P F (2011) Validation de l'utilisation de la thermographie infrarouge pour la mise en évidence du stress chez le cheval de spectacle. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de Médecine de Créteil. France.

E

Egahi J.O., Dim N.I et Momoh O.M. (2013) The effect of plumage modifier genes on egg quality indices of the Nigerian local chicken». *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science.*, 2 (2), , 04-06.

Egahi, J.O., Dim, N.I., Momoh, O.M., and Gwaza, D.S (2010) Variations in qualitative traits in the Nigerian local chicken, *Int. J. Poult. Sci.*, 9, 978-979,

Egena, S.S.A., Ijaiya, A.T., and Kolawole, R. (2014) An assessment of the relationship between body weight and body measurements of indigenous Nigeria chickens (*Gallus gallus domesticus*) using path coefficient analysis, *Livestock Research for Rural Development.*, 26, <http://www.lrrd.org/lrrd26/3/egen26051.htm> (last access: April 2015).

Ekue F.N., Pone K.D., Mafeni M.J., Nfi A.N. and Njoya J. (2002) Survey of the traditional poultry production system in the Bamenda area, Cameroon. In: *Characteristics and parameters*

of family poultry production in Africa. Publication of FAO/IAEA Co-ordinated Research Programme, 15-26.

El-Safty S.A., Ali U.M and Fathi M.M. (2006) Immunological parameters and laying performance of naked neck and normally feathered genotypes of chicken under winter conditions of Egypt ». *Int. J. Poult. Sci.*, 5, 780-785.

El-Safty, S.A. (2012) Determination of some quantitative and qualitative traits in Libyan native fowls, Egypt. *Poult. Sci.*, 32, 247-258.

El-yuguda A.D., Ngulde I.S., Abubakar M.B. et Baba S.S., (2007) Indices de santé, de conduite et de production des poulets villageois dans des communautés rurales sélectionnées de l'Etat de Borno (Nigeria). *Aviculture Familiale*, Vol. 17, No. 1&2, Bulletin RIDAF, 42-49.

Eriksson J, Larson G, Gunnarsson U, Bed'hom B, Tixier-Boichard M, Strömstedt L, et al. (2008) Identification of the *Yellow Skin* Gene Reveals a Hybrid Origin of the Domestic Chicken. *PLoS Genet* 4(2): e1000010. doi:10.1371/journal.pgen.1000010.

Eskindir A., Kefelegn, K., Tadelles, D., and Banerjee, A.K. (2013) Phenotypic characterization of indigenous chicken population in Ethiopia, *International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies.*, 1, 24-32.

F

Fajemilehin S.O.K. (2011) Frequencies of different phenotypes and body parameters of mature indigenous chicken in deciduous rainforest of Nigeria, Niger. *J. Anim. Prod.*, 38, 4-13.

FAO. (2005) Genetic characterization of livestock populations and its use in conservation decision making, par O. Hannotte et H. Jianlin. *Dans J. Ruane et A. Sonnino, eds. The role of biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*, pp. 89–96. Rome. (Disponible également à l'adresse Internet www.fao.org/docrep/009/a0399e/a0399e00.htm).

FAO. (2006) Rapport sur l'élevage, Rome.

FAO. (2007) The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Rischkowsky B. and Pilling D. (Eds), FAO, Rome, 511 p.

FAO. (2008) L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. In Rapport : *L'état de la biodiversité de l'agriculture dans le secteur de l'élevage*. FAO, Rome, 66-78.

FAO. (2009) Comment nourrir le monde en 2050». Forum d'experts de haut niveau, Rome, 12 et 13 octobre, p. 2.

FAO. (2010) Poultry genetics and breeding in developing countries. Genetic diversity and conservation of genetic resources. Poultry development review by Robert Pym, Paper N° 5 Rome.

FAO. (2010) Chicken genetic resources used in smallholder production systems and opportunities for their development, by Sørensen, P., FAO Smallholder Poultry Production, Paper No. 5, Rome,

FAO. (2012) Phenotypic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health guidelines No 11. Rome, 142 p.

FAO. (2013) Caractérisation phénotypique des ressources génétiques animales. Directives FAO sur la production et la santé animales No. 11. Rome.

Faruque S., Siddiquee N.U., Afroz M.A., and Islam M.S. (2010) Phenotypic characterization of native chicken reared under intensive management system, J. Bangladesh. Agri. Univ., 8, 79-82.

Fayeye T.R., Ayorinde K.L., Ojo V., and Adesina O. M. (2006) Frequency and influence of some major genes on body weight and body size parameters of Nigerian local chickens, Livestock Research for Rural Development., 18,<http://www.lrrd.org/lrrd18/3/faye18037.htm>

Fayeye T.R., Hagan J.K., and Obadare A.R. (2014) Morphometric traits and correlation between body weight and body Size traits in Isa Brown and Ilorin ecotype chickens, Iranian Journal Of Applied Animal Science., 4, 609-614.

Feizi A, Shahazi M, Taifebagerlu J, Haghigat A. (2012) Effect of heat stress (HS) on production of Hy-Line layers. Research Journal of Biological Sciences, 7: 206-208.

Fillit C. (2011) Développement d'un banc de thermographie infrarouge pour l'analyse in-situ de la fiabilité des microsystèmes. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Flamant, J.C. (1988) La dimension humaine des schémas d'amélioration génétique des races ovines, In *Biologie et animal 1*, Presses de l'Institut d'études politiques de Toulouse, p.347-365.

Fosta J.C. (2008) Caractérisation des populations de poules locales au Cameroun. Thèse PhD de l'Université de Dschang, Option génétique animale et systèmes de production, 301 pp.

Fotsa J.C., Rognon X., Tixier-Boichard M., Coquerelle G., Poné Kamdem, D., Ngou Ngoupayou et al A. (2010) Caractérisation phénotypique des populations de poules locales (*Gallus gallus*) de la zone forestière dense humide à pluviométrie bimodale du Cameroun, *Animal Genetic Resources.*, 46, 49-59, doi:<http://dx.doi.org/10.1017/S207863361000069X>.

Francis C.A., MacLeod M.G., Anderson J.E.M. (1991) Alleviation of accute stress by food withdrawal or darkness. *Br. Poult. Sci.* 32, 219-225.

Freund L. (1925) Besonderheiten der vogelhaut als artcharaktere angeblich pathologischer herkunft. *Z. ind. Abst.vererb.*, 36, p. 426-429.

Franck Y., Gérard A., Le Méné M., Souloumiac J., Allard F., Boutalbi O. (1993) Test de fiabilité de différents systèmes de refroidissement intérieurs en poulets de chair. *Sciences et Techniques Avicoles*, 4, 13-28.

Fumihito, A., Miyake, T., Takada, M., Shingu, R., Endo, T., Gojobori, T., et al. (1996) Monophyletic origin and unique dispersal patterns of domestic fowls. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93(13): 6792–6795.

G

Geraert P.A. (1991) Métabolisme énergétique du poulet de chair en climat chaud. *INRA Productions animales*, 4 (3), pp.257-267.

Geraert P.A. (1995) Déterminisme génétique de la résistance à la chaleur. *1ères J. Rech. Avic.*, Angers, 28-30 Mars 1995, 81-86.

Guèye E.F., Ndiaye A, and Branckaert, R.D.S. (1998) Prediction of body weight on the basis of body measurements in mature indigenous chickens in Senegal, *Livestock Research for Rural Development.*, 10, <http://www.lrrd.org/lrrd10/3/sene103.htm> (last access: April 2015).

Gourichon D., Bed'Hom B., Vieaud A., Coville J.L, et Tixier-Boichard M. (2009) Connaissances actuelles sur les gènes de coloration chez le poulet. *8èmes Journées sur la Recherche Avicole*, St-Malo, 25-26 Mars, 609-613.

Guni F.S., Katule A.M, and Mwakilembe P.A.A. (2013) Characterization of local chickens in selected districts of the Southern Highlands of Tanzania: II. Production and Morphometric traits, Live stock Research for Rural Development., 25, <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/guni25190.htm>.

Greenwood A.W. (1927) The blackless fowl. *Proc R. Phys. Soc. Edin.*, 21, 123-129.

H

Haaren-Kiso A.V., Horst P., Valle-Zarate A. (1994) Direct and indirect effects of the frizzle gene (F) for the productive adaptability of layers. *Arch. Geflugelkd.* 56, 248-257.

Halbouche M., Dahloun L., Mouats A., Didi M., Ghali S, Boudjenah W et al. (2009) Inventaire phénotypique des populations avicoles locales de l'Ouest algérien. Etude des caractéristiques des œufs et des animaux». *Premières journées d'étude sur les Ressources génétiques avicoles: Potentiels et perspectives de valorisation*, 23 et 24 juin. Université de Mostaganem.

Halbouche M., Dahloun L., Mouats A, Didi M., Benabdelmoumene D, and Dahmouni Z. (2012) Sélection d'une souche avicole locale thermotolérante en Algérie. Programme et résultats préliminaires, *Eur. J. Sci. Res.*, Vol.71 No.4, 2012, 569-580.

Halbouche M. (2013) Aviculture, gènes et climat: la nouvelle révolution des gènes adaptatifs». *Ressources Génétiques Animales en Algérie, 11èmes journées internationales des sciences vétérinaires*, 30 Nov et 01 Déc. ENSV, Alger.

Hanzl C.J., Somes Jr. (1983) The effect of naked neck gene, Na, on growth and carcass composition of broilers raised in two temperatures. *Poult. Sci.* 62, 934-941.

Haugh R. R. (1937) The Haugh unit for measuring egg quality». *US Egg Poult. Mag.*, (43), 522-555, 572-573.

Harrison C.J.O. (2003) A new jungle fowl from the pleistocene of europe. *J. Archacol. Sci.* 5 : 373-376. In Crawford R. D. *Poultry Breeding and genetics*. 3rd Edition. Elsevier B.V. Pays bas.

Hartmann W. (1972) Relationships between genes at the pea and single comb locus and economic traits in broiler chicken. *Brit. Poultry Sci.* 13 : 305-309.

Hassaballah K, Zeuh V, and Sembene M. (2014) Phenotypic diversity of local chickens (*Gallus domesticus*) in three ecological zones of Chad, *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.*, 1, 1-8.

Hillman P.E., Scott N.R, and Van Tienhoven A. (1985) Physiological responses and adaptation to hot and cold environments. In Yousef M.K. (Ed.), *Stress physiology in livestock, vol. 3, Poultry*, CRC Press, Boca Raton, Floride, 1-71.

Hoffmann I (2008) The global plan of action for animal genetic resources and the onservation of poultry genetic resources. Proceedings of the 23th World's Poultry Congress, Brisbane, Australia, July 2008. CD ROM.

Horst P., Rauhen H W. (1986) Significance of the naked neck gen (Na) in poultry breeding in the tropics. *Résumés de la VIIe Conférence Avicole Européenne*, Paris, 1, 191-195.

Horst P. (1988) Native fowl as reservoir for genome and major genes with direct and indirect effects on productive adaptability ». In *Proceedings of the 18th World's Poultry Congress, held 4–9 September, Nagoya, Japan*, World's Poultry Science Association, pp 99–105.

Horst P., Peterson J. (1975) Investigations on the effect of high environmental temperatures on performance of laying hens of different body weight. *Arch. Geflugelkd.* 39, 225-231.

Horst P et Mathur P.K. (1994) Feathering and adaptation to tropical climates. *Comptes rendus de la IX Conférence Européenne Avicole*, Vol 2, UK Branch of WPSA, Glasgow, 79-82.

Hume T. (2011) Backyard chicken husbandry: Part 1, *Companion Animal.*, 16, 43–46, doi:10.1111/j.2044-3862.2011.00042.x

Hurst C.C. (1905) Expériences wit poultry. *Poult. Rep. Evol.. Com. R. Soc.*, 2, 131-154.

Hutt R.B. (1949) *Genetics of the Fowl*. Mc Graw-Hill Book Co. Inc. New-York.

I

Ibe S.N. (1989) Measures of size and conformation in commercial broilers, *J. Anim. Breed. Genet.*, 106, 461-469,

Ige A.O. (2013) Estimation of genetic parameter in Yoruba and Fulani ecotypes indigenous chickens of Nigeria, *Transnational Journal of Science and Technology*, 3.

Ikeobi C.O.N., Ozoje M.O., Adebambo O.A., and Adenowo J.A. (2001) Frequencies of feet feathering and comb type genes in the Nigerian local chicken, *Pertanika, J. Trop. Agric. Sci.*, 24, 147- 15,

Iniguez L. (2005) Sheep and goats in West Asia and North Africa: an Overview, *In* L. Iniguez, ed. *Characterization of small ruminant breeds in West Asia and North Africa*, Aleppo, Syria. International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA).

Iqbal S., and Pampori Z.A. (2008) Production potential and qualitative traits of indigenous chicken of Kashmir, *Livestock Research for Rural Development*, 20, <http://www.lrrd.org/lrrd20/11/iqba20182.htm>.

Isidahomen C.E., Njidda A.A et Olatunji E. A. (2013) Egg Quality Traits of Indigenous and Exotic Chickens As Influenced By Specific Genes ». *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, Vol.3, No.1.

J

Jacquet M (2012) La maîtrise des consommations d'énergie en bâtiments avicoles. Filière Avicole et Cunicole Wallone (FACW), Belgique, www.facw.be.

Jesuyon O.M.A, and Salako, A.E. (2013) Variability and predictability of productive and body traits of Fulani ecotype chicken, *Afr. J. Agric. Res.*, 8, 6178-6184, doi: 10.5897/AJAR12.646.

Jin Y. H., Lee K. T., Lee W. I, et Han Y. K. (2011) Effects of Storage Temperature and Time on the Quality of Eggs from Laying Hens at Peak Production ». *Asian-Aust.J. Anim. Sci.*, 24 (2), 279-284.

Johnson S., Somes R.G. Jr. (1978) The effect of the scaleless gene on the performance of broilers in a hot climate. *Agric. Exp. Station*, 779-786.

Jurkschat, M., Burmeister, A., Nichelmann, M., & Thomas, E. (1986). A mathematical equation to describe the influence of age, wind speed and ambient temperature on heat production in Turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Journal of Thermal Biology*, 11(2), 105-108.

K

Kaci A et Cheriet F (2013) Analyse de la compétitivité de la filière de viande de volaille en Algérie: tentatives d'explication d'une déstructuration chronique, *New Medit*, Numéro. 2,.

Kaiser H.F. (1974) An index of factorial simplicity, *Psychometrika*., 39, 31-36.

Keambou T.C., Boukila B., Moussounda G et Manjeli Y. (2009) Comparaison de la qualité des œufs et des performances de croissance des poussins locaux des zones urbaines et rurales de l'Ouest-Cameroun ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(3), 457-465.

Kennedy, A.D., Berry, R.J., Kyle, B.L (2003) Mesure des variations quotidiennes de la température à la surface du pis des vaches laitières par thermographie infrarouge : possibilités pour la détection de la mammite. *Canadian Journal of Animal Science* (2003), Vol. 83, p. 687-693.

Kheir-Eldin A.M., Shaffner C.S. (1957) Familial differences in resistance to high environmental temperatures in chicks. *Poult. Sci.* 30, 1064.

Kilic I and Simsek E (2013) The effect of heat stress on egg production and quality of laying hens. *Journal of Animal and Veterinary advances* 12 (1), 42-47.

King'ori A.M. (2012) Poultry egg external characteristics: Egg weight, Shape and Shell Color. *Res. J. Poult. Sci.*, 5(2), 14-17.

Kuhn E. (2013) Contrôle non destructif d'un matériau excité par une onde acoustique ou thermique, observation par thermographie. Thèse de doctorat en Mécanique et matériaux, Université Paris Ouest Nanterre la Défense.

L

Lachance F. (2005) Investigation d'une nouvelle stratégie de contrôle environnemental pour bâtiment avicole. Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure.

Lauvergne J.J. (1982) Génétique des populations animales après la domestication : Conséquences pour la conservation des races. *Proc World Cong. Genet. Appl. Livestock Prod.*, 6, 77-87.

Larbier Z.M., Chagneau A.M, et Geraert P.A. (1993) Influence of ambient temperature on true digestibility of protein and amino acids of rapeseed and soybean meals in broilers.

Larget N (2011) Contribution à l'évaluation de la dégradation du bétail : Thermographie infrarouge et couplage de techniques. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur, Bordeaux. p 225.

Latshaw J. D, and Bishop B. L. (2001) Estimating body weight and body composition of chickens by using non invasive measurements, *Poult. Sci.*, 80, 868-873.

Larivière J et Leroy P. (2008) Conservation et valorisation de la diversité des ressources génétiques du poulet en Europe : initiatives et perspectives. *Ann. Méd. Vét.*, 152, 203-220.

Lauvie A. (2007) Gérer les populations animales locales à petits effectifs : Approche de la diversité des dispositifs mis en œuvre. Thèse de doctorat, Agro paris Tech, p. 369.

Laxmi P.J. (2006) Correlations among various egg quality traits in White Leghorn ». *Indian.Vet. J.*, (83), 59-62.

Leenstra F., Cahaner A. (1991) Genotype by environment interactions using fastgrowing, lean or fat broiler chickens, originating from the Netherlands and Israel, raised at normal or low temperature. *Poult. Sci.* 70, 2028-2039.

Le Méné M., 1987. *Bul. d'info. S.E.A. Ploufragan.*, 27 (t): 19-23.

Lerner I. M. (1937) Shank length as a criterion of inherent size, *Poult. Sci.*, 16, 213-215,

Liyanage R.P., Dematawew C.M.B, and Silva G.L.L.P. (2015) Comparative study on morphological and morphometric features of village chicken in Sri Lanka, *Trop. Agric. Res.*, 26, 261-273.

Loyau T., Berri C., Bedrani L., Metayer-Coustard S., Praud C., Duclos M.J, et al. (2013) Thermal manipulation of the embryo modifies the physiology and body composition of broiler chickens reared in floor pens without affecting breast meat processing quality. *J Anim Sci* 91: 3674-3685.

Loyau T., Rodenburg B., Fablet J., Tixier-Boichard M., David J, Pinard- Van Der Laan M. H et al. (2015) Heritability of body surface temperature and genetic correlations with plumage

condition and egg quality in laying hens exposed to chronic heat. 66th EAAP Annual Meeting, Warsaw, Poland.

Lucas J. L, Rostagno M. H (2013) Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Animals*, 3, 356-369; doi:10.3390/ani3020356.

M

MacDonald K., Edwards D.N. (1993) Chickens in Africa: The importance of Qars Ibrim., 67 (256), 584-589.

MacLeod M.G., 1984. Factors influencing the agreement between thermal physiology measurements and field performance in poultry. *Arch. exp. Vet. med.*, Leipzig, 38 : 399-410

Magoth T.M., Muhuyi W, and Kahi A. (2010) Influence of major genes for crested-head, frizzle-feather and naked-neck on body weights and growth patterns of indigenous chickens reared intensively in Kenya. *Trop. Anim. Health Prod.*, 42, 173-183.

Mahammi F. Z., Gaouar S.B.S., Tabet-Aoul N., Tixier-Boichard M, and Saïdi-Mehtar N. (2014) Caractéristiques morpho-biométriques et systèmes d'élevage des poules locales en Algérie occidentale (Oranie), *Cah. Agric.*, 23, 382-392, doi: 10.1684/agr.2014.0722.

Mahammi F. Z., Gaouar S. B. S., Laloë D., Faugeras R., Tabet-Aoul N., Rognon X, et al (2015) A molecular analysis of the patterns of genetic diversity in local chickens from western Algeria in comparison with commercial lines and wild jungle fowls, *J. Anim. Breed. Genet*, doi: 10.1111/jbg.12151.

Mahmoud K.Z., Beck M.M., Scheideler S.E., Forman M.F., Anderson K.P., Kachman S.D. (1996) Acute high environmental temperature and calcium-estrogen relationship in the hen. *Poult. Sci.* 75, 1555-1562.

Mahrous M.Y. (2008) Effect of interaction between some major and marker genes on immune response and productive performance of chickens. PhD thesis in Agricultural science (poultry breeding), Department of Poultry Production, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, 175 pp.

Mandonnet N., Tillard E., Faye B., Collin A., Gourdine J.L., Naves M., Bastianelli D., Tixier-Boichard M. et Renaudeau D. (2011) Adaptation des animaux d'élevage aux multiples contraintes des régions chaudes. *INRA Prod. Anim*, 24 (1), 41-64.

- Marascuilo L. A. (1966) Large-sample multiple comparisons, *Psychol. Bull.*, 65, 280–290,
- Marks H.L., Huston T.M. (1973) Response of selected quail lines to heat stress. *Poult. Sci.* 52, 1668-1670.
- Martin V (2010) Les processus inflammatoires chez les oiseaux : Physiopathologie et implications cliniques en aviculture. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Toulouse 3, 2010, 133 p.
- Mathur P.K et Horst P. (1990) Single and combined effects of tropically relevant major genes on performance of layers ». In *Proceedings of the 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Edinburgh, UK., 16.
- Mathur, P.K and Horst, P. (1988) Efficiency of warm stall tests for selection on tropical productivity in layers, *Proced World's Poultry Congress*, Nagoya, Japan, 4-9 Sept 1988, 383-385.
- Mathur P.K and Horst P. (1992) Improving productivity of layers in the tropics through additive and non-additive effects of major genes. *19th W. Poult. Cong.*, Amsterdam, Netherlands, 20-24 September 1992, 3, 7 (Abstract).
- Mathur P.K and Horst P. (1994) Genotype by environment interactions in laying hens based on relationship between breeding values of sires in temperate and tropical environments. *Poult. Sci.* 73, 1777-1784.
- Mbap S.T. (1985) The performance of local, exotic and hybrid cattle at Ibadan and Vom in Nigeria, Ph.D. thesis. University of Ibadan, Ibadan.
- McGibbon W.H. (1977) A sex-linked mutation affecting rate of feathering in chickens. *Poultry Sci.* 56: 872–875.
- McGibbon, W.H. (1981) White skin: a Z-linked recessive mutation in the fowl. *J.Hered.*, 72, p 139-140.
- Mendes A.A., Watkins S.E., England J.A., Saleh E.A., Waldroup A.L., Waldroup P.W. (1997) Influence of dietary lysine levels and arginine:lysine ratios on performance of broilers exposed to heat or cold stress during the period of three to six weeks of age. *Poult. Sci.* 76, 472-481.

Mendes M. (2009) Multiple regression models based on principal component scores to predict slaughter weight of broiler, *Arch. Geflügelk.*, 73, 2, S, 139-144.

Mendes M. (2011) Multivariate multiple regression analysis based on principal component scores to study relationship between some pre- and post- slaughter traits of broilers, *J. Agri. Sci (Tarim Bilimleri Dergisi.)*, 17, 77-83.

Mérat P. (1962) Existence d'un gène " majeur " influant sur la taille des barbillons chez la poule. *Ann. Zootech.*, 11,p. 157-158.

Mérat P et Bordas A. (1982) Etude des particularités de la poule Fayoumi: Performances de ponte en cages individuelles à deux températures». *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 14 (2), 241-244.

Mérat P. (1986) Potential usefulness of the Na (naked neck) gene in poultry production. *World's Poult. Sci. J*, 42, 124-142.

Mérat P. (1990a) Utilisation des gènes majeurs et des races locales. Suggestions pour l'aviculture des pays de la Méditerranée. CIHEAM, *Options Méditerranéennes*, Série A, N°7, 15-27.

Mérat P. (1990b) Gènes majeurs chez la poule (*Gallus gallus*): autres gènes que ceux affectant la taille. *INRA Prod. Anim.* 3 (5), 355-368.

Melesse A., Maak S et Von Lengerken G. (2010) Effect of long-term heat stress on egg quality traits of Ethiopian naked neck chickens and their F1 crosses with Lohmann white and new Hampshire chicken breeds». *Livestock Research for Rural Development.*, 22.

Melesse A.,Worku Z et Teklegiorgis Y. (2013) Assessment of the Prevailing Handlin and Quality of Eggs from Scavenging Indigenous Chickens Reared in Different Agro-Ecological Zones of Ethiopia ». *J. Environ. Occup. Sci.*, 2(1), 1-8.

Mindeguia JC, Sirieix C, Larget M, Breysse D (2012) Développement expérimental et numérique de la thermographie infrarouge en tant qu'outil d'évaluation de la dégradation du béton d'enrobage. *XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012*.

Minvielle F. (1975) L'estimation de poids vif des bovins marocains par barymétrie. *Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires*, Vol 4 N°17.

Missohou A., Dieng A., Horst P., Zarate V.A., Nesseim T., Tchedre K. (2003) Effect of dwarf (dw) and frizzle (f) genes on the performance of layers under Senegalese conditions. *Tropical. Anim. Health Prod.* 35, 373-380.

Mohamed Said R. (2015) Etude qualitative et quantitative des résidus d'antibiotiques dans la viande de volaille et les œufs dans la région de Mitidja. Utilisation des probiotiques comme alternative, thèse de doctorat Es science, université Mouloud Maameri, Tizi Ouzou, p 156.

Momoh O.M, and Kershima D.E. (2008) Linear body measurements as predictors of body weight in Nigerian local chickens, *ASSET: An International Journal (Series A)*., 8, 206-212.

Monchau (2013). Mesure d'émissivité pour la thermographie infrarouge appliquée au diagnostic quantitatif des structures. Thèse de Doctorat , Université Paris-Est Ecole Doctorale SIE.

Monnet L.E., Bordas A, et Merat P. (1980) Gène Cou nu, poids corporel et paramètres anatomiques et physiologiques des poulettes et poules adultes selon la température. *Ann. Génét. Sélec. anim.*, 12(3), 241-254.

Monnet L.E. (1980) Effets du gène Na (cou nu) sur les performances de croissance et de ponte en relation avec les températures ambiantes chez la poule domestique (*Gallus domesticus*) ». Thèse de docteur-ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 154p.

Moula N. (2012) Biodiversité avicole dans les pays industrialisés et en développement: Caractérisation et étude des performances de production de races gallines locales. Exemple de la Belgique, de l'Algérie, du Vietnam et de la République démocratique du Congo». Thèse de doctorat, Université de Liège, Département des productions animales, 228 pp.

Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F, et Leroy P. (2009) Evaluation of the Production Performances of an Endangered Local Poultry Breed, the Famennoise». *Int. J. Poult. Sci.*, 8 (4), 389-396.

Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F., Detilleux J. et Leroy P. (2009) Rehabilitation socioeconomique d'une poule locale en voie d'extinction: la poule Kabyle (Thayazit lekvyel). *Ann. Méd. Vét.*, 153, 178-186.

Moula N., Antoine-Moussiaux N., Decypere E., Farnir F., Mertens K., De Baerdemaeker J, et al. (2010) Comparative study of egg quality traits in two Belgian local breeds and two commercial lines of chickens». *Arch. Geflügelkd.*, 74 (3),164–171.

Moula N., Luc D.D., Dang P.K., Farnir F., Ton V.D., Binh D.V, et al. (2011) The RI chicken breed and livelihoods in North Vietnam: Characterization and prospects, *J.Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop.*, 112, 57-69.

Moula N., Farnir F., Salhi A., Iguerouada M., Leroy P, and Antoine-Moussiaux N. (2012) Backyard poultry in Kabylie (Algeria): from an indigenous chicken to a local poultry breed ?, *Animal Genetic Resources.*, 50, 87-96, doi:10.1017/S207863361200001X.

Moula N., Antoine-Moussiaux N., Ait Kaki A., Farnir F, et Leroy P. (2012) Comparaison de la qualité des œufs de la race de poule locale Kabyle et de son croisement avec la souche industrielle Isa-Brown». *10^{ème} Journées des Sciences Vétérinaires., ENSV d'Alger, Alger, Algérie.*

Moro C., Cornette R., Vieaud A., Gourichon D., Bed'hom B., Tixier-Boichard M. (2013) Phénotypage et facteurs de variation de la taille de la crête : Application à la crête en pois, *Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, du 26 au 28 mars 2013.*

Moreki, J.C. and Masupu, K.V. (2001) Country report: Botswana. In: SADC Planning Workshop on Newcastle Disease Control in Village Chickens. Proceedings of an International Workshop (Alders, R.G. and Spradbrow, P.B., Eds.), 6-9 March 2000, Maputo, Mozambique. ACIAR Proceedings No. 103, pp. 5-10.

Muchadeyi F.C., Wollny C.B.A., Eding H., Weigend S., Makuza M, and Simianer, H. (2007) Variation in village chicken production systems among agro-ecological zones of Zimbabwe, *Trop. Anim. Health Prod.*, 39, 453-461, doi: 10.1007/s11250-007-9050-0.

Museux N. (2010) Expertise biothermique de matériaux soumis à des rayonnements infrarouges intenses : De l'identification paramétrique à l'évaluation des risques de brûlure. *Automatique / Robotique.* Université d'Angers.

Mtilleni M.F.C., Maiwashe A., Chimonyo M, and Dzama, K. (2012) Conservation and utilization of indigenous chicken genetic resources in Southern Africa, *World. Poultry. Sci. J.*, 68, 727-747.

N

N'dri A. L. (2006) Etude des interactions entre génotype et environnement chez le poulet de chair et la poule pondeuse. Thèse de Doctorat, INA Paris-Grignon, Département des sciences animales, 225 pp.

Nesheim M. C., Austic R. E, and Card L.E. (1979) Poultry production, Lea and Febiger, 12th edition, Philadelphia, 58-92.

O

Ogah D.M. (2011) Assessing size and conformation of the body of Nigerian indigenous turkey, Slovak J. Anim. Sci., 44, 21-27.

Oguntunji A.O and Alabi O.M (2010) Influence of high environmental temperature on egg production and shell quality: a review. World's Poultry Science Journal, Vol. 66. doi:10.1017/S004393391000070X

Olawumi S. O. (2011) Influence of breed and season on reproductive traits of three strains of commercial layers in the derived savannah zone of Nigeria. International Journal of Agriculture and Food Science, 2: 97, 104.

Olawumi S. O. (2014) Carcass characteristics of broiler chicken strains fed different levels of feed restriction during eleven to seventeen days of age. SPJTS,2.(1),261-268

P

Patterson P.H ; Barbut D ; Bitgood J.J. (1983) Effect of Z-linked recessive White skin and supplemental xanthophyll on early chick body weight and shank color. Poult. Sci., 62, p. 1480 (Résumé).

Pellegrini P. (2005) De l'idée de race animale et de son évolution dans le milieu de l'élevage, *Ruralia* [en ligne], mis en ligne de 25 janvier 2005, consulté le 3 novembre 2005, disponible sur <http://ruralia.revues.org/document112.html>.

Pérez M, De Basilio V, Colina Y, Oliveros Y, Yahav S., Picard M. Bastianelli D. (2006). Evaluation du niveau de stress thermique par mesure de la température corporelle et du niveau

d'hyperventilation chez le poulet de chair dans des conditions de production au Venezuela. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2006, 59 (1-4) : 81-90.

Périquet J.C. (1994) *Le grand livre des volailles de France*. Rustica (Eds.), Paris. 152 p.

Périquet J. C (1997) *La poule: races, conditions d'élevage, hygiène et santé, produits*. Edition Rustica. 112p.

Périquet J.C. (2006) *Coqs et poules : races françaises*. Rustica : Paris, 223 p.

Petitjean M and Cochez L.P. (1966) A propos de la subfertilité des coqs homozygotes pour le gène R (crête rosacée). *Comptes rendus du XIII^e Congrès mondial d'aviculture*, Kiev, 125-130.

Petitjean M et Servouse M. (1981) Comparative study of some characteristics of the semen of RR (rose comb) or rr (single comb) cockerels. *Reprod. Nutr. Develop.*, 21 (6B), p. 1085-1093.

Phocas F., Agabriel J., Dupont-Nivet M., Geurden I., Médale F., Mignon-Grasteau S et al (2014). Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficacité des productions animales. *INRA Prod. Anim.*, 27 (3), 235-248.

Phocas F, (coord.) ; Belloc C ; Delaby L ; Dourmad J.Y ; Ducrot C ; Dumont B ; Ezanno P ; Foucras G ; Gonzales-Garcia E ; Hazard D ; Lamothe L ; Larzul C ; Mignon-Grasteau S. Moreno C ; Tixier-Boichard M ; Brochard M, (coord.) ; Bidanel J ; Frappat B ; Lubac S. (2015) *Outils et leviers pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agro-écologie*. ABCIS, INRA, Rapport final de l'étude n° SSP-2014-061.

Pinto L.F.B., Parker I.U., Melo C.M.R., Ledurn M.C, and Coutinho L.L. (2006) Principal component analysis applies to performance and carcass trait in chicken, *Anim. Res.*, 55, 419-425, doi: <http://dx.doi.org/10.1051/animres:2006022>

Punnett R.C and Bailey P.G. (1918) Genetic studies in poultry. 1. Inheritance of leg feathering. *J. Genet*, 7, 203-213.

U

Udoh U.H., Okon B, et Udoh A.P. (2012) egg quality characteristics, phenotypic correlation and prediction of egg weight in three (Naked neck, Frizzled feather and Normal feathered) Nigerian local chickens ». *Int. J. Poult. Sci.*, 11 (11), 696-699.

R

R Development Core Team.: R. (2011) A Language and Environment for Statistical, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>.

Rajkumar U., Sharma R.P., Rajaravindra K.S., Niranjana M., Reddy B.L.N, Bhattacharya T.K., Reddy P.M., Reddy V.R., Reddy C.V et Rap P.S.P. (1979) Egg weight, shape index and hatch ability in Khaki Campbell duck egg». *Indian. J. Poult. Sci.*, 14, 26- 31.

Ramsay K. (2002) Marketing rare breeds in sub-Saharan Africa. Dans Almekinders, C.J.M (Comp). 61-68.

Rauen H.W., Horst P., Valle-Zarate A. (1986) Bedeutung des gens für Befiederungsreduktion und Nackthalsigkeit (Na) für die produktive Adaptationsverögen von Legehennen unter hoher Temperatur Dauerbelastung. *Archiv f. Geflügelk*, 50, 235-245.

Rege J.E.O, and Gibson J.P. (2003). Animal genetic resources and economic development: issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics*, 45(3): 319–330.

Rege J.E.O. (1999) The state of African cattle genetic resources I. Classification framework and identification of threatened and extinct breeds. *Animal Genetic Resources Information*, 25: 1–25.

Renaudeau D, Mondonnet N, Tixier-Boichard M, Noblet J. Bidanel J-P. (2004). Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : la voie génétique, *INRA Prod. Anim.*, 17 (2), 93-108

Richards, S. A. (1977). The influence of loss of plumage on temperature regulation in laying hens. *Journal of Agricultural Science*, 89, pp.393-398.

Ricard F. H., Rouvier R., Marche G. (1965) Etude des mesures de conformation du poulet. I - analyse statistique préliminaire concernant le poids et 13 mensurations corporelles du poulet Vivant. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 14 (2), pp.191-212.

Roberts J. R and Ball W (1998). Effects of heat stress on egg shell quality in five strains of laying hen. *Prod. Aust.Poult. Sci. Sym.*

Rodberg F. (2005) Emergency regional support for post-avian Influenza rehabilitation. *Compte rendus non publié des ateliers nationaux TCP/RAS/2010. FAO.*

Romijn C and Lokhorst W. (1966) Heat regulation and energy metabolism in the domestic fowl. In physiology of the fowl, Morton Smith C. and Amoroso, Oliver and Boyd (Eds), Edinburgh, London, 211-227.

Rouvier R et Ricard F.H. (1965) Etude des mesures de conformation du poulet. II. Recherche des composantes de la variabilité morphologique du poulet vivant, *Ann. Zootech*, 14 (2), 213-227.

Roxas N.P., Villanueva E.M, and Lambio A.L. (1996) Protein and isoenzyme polymorphisms in Philippine native chickens, *Philipp. J. Vet. Anim. Sci.*, 22, 43-58.

S

Scherf B. (éd.). (2000) World Watch List for domestic animal diversity, 3e édition, FAO, Rome, Italie, <http://dad.fao.org/en/refer/library/wwl/wwl3.pdf>. Service.

Scott T.A et Silversides F.G. (2000) The effect of storage and strain of hen on egg quality ». *Poult. Sci.*, 79, 1725-1729.

Semakula J., Lusembo P., Kugonza D. R., Mutetikka D., Ssenyonjo J, and M. Mwesigwa. (2011) Estimation of live body weight using zoometrical measurements for improved marketing of indigenous chicken in the Lake Victoria basin of Uganda, *Livestock Research for Rural Development* 23, <http://www.lrrd.org/lrrd23/8/sema23170.htm>.

Serebrovsky A.S. (1922) Crossing over involving three sex linked genes in chickens. *American Naturalist*, 56, 571-572.

Settar P., Yalcin S., Turkmur L., Ozkan S., Cahaner A. (1999) Season by genotype interaction related to broilers growth rate and heat tolerance. *Poult. Sci.* 78, 1353-1358.

Shahin K.A and Hassan H.S. (2000) Sources of shared variability among body shape characters at marketing age in New Zealand White and Egyptian rabbit breeds, *Ann. Zootech.*, 49, 435-445, doi:<http://dx.doi.org/10.1051/animres:2000134>.

Sharma, S. (1996) Applied multivariate techniques, John Wiley & Sons, Inc, Canada.

Sharma R. K. (2007) Rôle et pertinence de l'aviculture familiale rurale dans les pays en voie de développement: cas particulier de l'Inde. *Aviculture Familiale* 17 (1 et 2) : 35-41

Shoffner R.N., Otis J.S, and Garwood, V. A. (1993) Association of dominant marker traits and metric traits in chickens, *Poult. Sci.*, 72, 1405-1410.

Silversides F.G et Budgell K. (2004) The relationships among measures of egg albumen height, pH and whipping volume». *Poult. Sci.*, 83, 1619-1623.

Silversides F.G et Scott T. A. (2001) Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens». *Poult. Sci.*, 80, 1240–1245.

Smith A.J. (1992) L'élevage de la Volaille». Agence de la coopération culturelle et technique, Paris, édition Maisonneuve et Larose, 183p.

Sola-Ojo F.E., Toye A.A, and Ayorinde K.L. (2011) Incidence and frequencies of adaptative genes in intensively raised Fulani ecotype chickens, *Afr. J. Gen. Agric.*, 7, 163-168.

Some R. G. Jr. (1969) Delayed feathering : A third allele at the K locus of domestic fowl. *J. Hered.*, 60, p. 281-286.

Somes R.G. Jr., Johnson S. (1982) The effect of the scaleless gene, sc, on growth performance and carcass composition of broilers. *Poult. Sci.* 6, 414-423.

Somes R.G. Jr., Weidenhefft M. (1982) Cooked and organoleptic characteristics of scaleless broiler chickens. *Poult. Sci.* 61, 221-225.

Somes R.G. Jr. (1990) Mutation and major variants of muscles and skeleton in chickens. In Crawford R.D (Ed.), *Poultry Breeding and Genetics*, Elsevier, Amsterdam, 209-237.

Sonaiya E.B et Swan S.E.J. (2004) Production en aviculture familiale, un manuel technique. *FAO Production et santé animales*, Rome, 140 pp.

Soussana J.F (2013) S'adapter au changement climatique: Agriculture, écosystèmes et territoires. Edit EQUA.

SPSS.: Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc, 444 Michigan Avenue, Chicago, IL60611, 2001.

Spruyt P, Ghafir Y, Art T, Leukeu P (1995) La thermographie infrarouge dans l'étude de la thermorégulation : Revue de la littérature. *Ann. Méd. Vét.*, 139, 413-418.

Sreenivas D., Gnana Prakash M., Mahender M et Chatterjee R.N. (2013) Genetic analysis of egg quality traits in White leghorn». *Vet. World.*, 6(5), 263-266.

Star L, Decuyper E, Parmentier HK, Kemp B (2008) Effect of single or combined climatic and hygienic stress in four layer lines: 2. Endocrine and oxidative stress responses. *Poult. Sci.* 87, 1031–1038.

Sturkie P. D (1976) *Avian Physiology*. 3e ed. Springer, New-York

T

Temim S, Bedrani L., Aïn Baziz H, Ghaoui H., Kaddour R., Boudina H., Adjou K., Collin A, et Tesseraud S. (2009). Effet de l'acclimatation précoce sur les performances de croissance et la morphométrie intestinale des poulets de chair élevés en conditions estivales méditerranéennes. *European Journal of Scientific Research*, 38(1), 110-118.

Tesseraud S and Temim S. (1999) Modifications métaboliques chez le poulet de chair en climat chaud: conséquences nutritionnelles. *INRA Productions Animales* 12 (5): 353-363

Thierry F (2013) La Thermographie chez le chien sain : Étude expérimentale. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de Médecine de Créteil. France.

Thioufe Thioune M.F. (2012) Lutte contre le stress thermique chez le poulet de chair élevé dans les conditions estivales de la région périurbaine de Dakar(Sénégal), par une régulation de l'apport énergétique alimentaire. Thèse de doctorat de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Dakar, Sénégal.

Tisdell C. (2003) Socioeconomic causes of loss of animal genetic diversity: analysis and assessment. *Ecological Economics*, 45(3): 365–376.

Tixier-Boichard M. (1992) L'amélioration génétique en France : le contexte et les acteurs - Les Volailles, *INRA Prod. Anim.*, hors série, 35-38.

Tixier-Boichard M. (2006) Évolution du concept de ressources génétiques animales. In: Verrier et Planchenault (Eds), *les Ressources Génétiques à l'Orée des temps nouveaux*, BRG, 20-21.

Tufvesson, M., Tufvesson, B., von Schantz, T., Johansson, K., & Wilhelmson, M. (1999). Selection for sexual male characters and their effects on other fitness related traits in white leghorn chickens. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. John Wiley & Sons. DOI: 10.1046/j.1439-0388.1999.00179.x

V

Valancony H., (1997). Les moyens de lutte contre le coup de chaleur. *Journ. Rech. avic.*, **2** : 153-160.

Verrier E., Loywyck V., Donvez J., Blouin C., Heyman G and Cottrand J.F. (2005) La gestion génétique des races d'effectifs limités : principes et application au cas du cheval de trait boulonnais et de l'âne grand noir du Berry, *31ième journée de la recherche équine*, p.161-171

Venturini GC ; Cruz VA ; Rosa JO ; Baldi F ; El Faro L ; Ledur MC, et al. (2014) Genetic and phenotypic parameters of carcass and organ traits of broiler chickens. *Genet Mol Res.* 4,13(4):10294-300. doi: 10.4238/2014.

Vissac B. (1993) Société, race animale et territoire entre les théories et l'histoire : réflexions sur une crise, *Natures Sciences Sociétés*, 1(4), p.282-297.

W

Washburn K.W., Peavey R, and Renwick G.M. (1980) Relationship of strain variation and feed restriction to variation in blood pressure and response to heat stress. *Poult. Sci.* 59, 2586-2588.

Washburn K.W., El-Gendy E., Eberhart D.E. (1992) Influence of body weight on response to a heat stress environment. *19th W. Poult. Cong.*, Amsterdam, Netherlands 20-24 September 1992, 2, 53-56.

Weigend S and Romanov M.N. (2001) Current strategies for the assessment and evaluation of genetic diversity in chicken resources. *World's Poultry Science Journal* 57: 275-288.

Weschenfelder A.V., Saucier L., Maldague X., Rocha L.M., Schaefer A.L., Faucitano L. (2014) Prédiction de la variation de la qualité de la viande par la température oculaire mesuré par thermographie infrarouge. *Viandes & Produits Carnés*, VPC-2014-30-2-5.

West B and Zhou B.X (1988) Did chickens next term go North? New evidence for domestication. *Journal of Archaeological Science*, 15, 515-533

Whittow G.C. (1976) Regulation of body temperature. In Avian physiology, Sturkie P.D. Editor III. Springer Verlag New York Inc.

Wilson S.P. (1974) Genotype by environment interaction in the context of animal breeding. *1st W. Cong. Gen. Appl. Livest. Prod.*, Madrid, 7-11 October 1974, 395-412.

Wilson H.R., Wilcox C.J., Voitle R.A., Baird C.D, and Dorminey R.W. (1975) Characteristic of white leghorn chickens selected for heat tolerance. *Poult. Sci.* 54, 126- 130.

Wright, D., Boije, H., Meadows, J.R., Bed'hom, B., Gourichon, D., Vieaud, A, et al . (2009) Copy number variation in intron 1 of SOX5 causes the Pea-comb phenotype in chickens, *PLoS Genet.*, 5:6, s.e1000512, doi:[10.1371/journal.pgen.1000512](https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000512).

Y

Yahav S., Goldfeld S., Plavnick I., Hurwitz S. (1995) Physiological response of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. *J. Therm. Biol.* 20, 245-253.

Yahav S., Luger D., Cahaner A., Dotan M., Rusal M., Hurwitz S. (1998) Thermoregulation in naked-neck chickens subjected to different ambient temperatures. *Br. Poult. Sci.* 39, 133-138.

Yahav S., Shinder D., Razpakovski V., Rusal M., Bar A. (2000) Lack of response of laying hens to relative humidity at high ambient temperature. *Br. Poult. Sci.* 41, 660- 663.

Yakubu A. (2010) Indigenous chicken flocks of Nasarawa state, Nigeria: Their characteristics, husbandry and productivity, *Tropical and Subtropical Agroecosystems.*, 12, 69-76,

Yakubu A., Kuje D, and Okpeku M. (2009) Principal components as measures of size and shape in Nigerian indigenous chickens, *Thai J. Agric. Sci.*, 42, 167-176

Yalçın S., Settari P., Ozkan S., Cahaner A. (1997a) Comparative evaluation of three commercial broiler stocks in hot versus temperate climates. *Poult. Sci.* 76, 921-929.

Yalçın S., Testik A., Ozkan S., Settari P., Celen F., Cahaner A. (1997b) Performance of naked neck and normal broilers in hot, warm, and temperate climates. *Poult. Sci.* 76, 930-937.

Yamada M., Tanaka M. (1992) Selection and physiological properties of thermotolerant White Leghorn hen. *19th W. Poult. Cong.*, Amsterdam, Netherlands, 20-24 September 1992, 2, 43-47.

Yunis R., Cahaner A. (1999) The effects of naked neck (Na) and frizzle genes on growth and meat yield of broilers and their interactions with ambient temperatures and potential growth rate. *Poult. Sci.* 78, 1347-1352.

Z

Zerjal T, Gourichon D, Rivet B, Bordas A. (2013) Performance comparison of laying hens segregating for the frizzle gene under thermoneutral and high ambient temperatures. *Poult Sci.* 92(6):1474-85. doi: 10.3382/ps.2012-02840.

Zulkifli I., Dunnington E.A., Gross W.B., Siegel P.B. (1994) Food restriction early or later in life and its effect on adaptability, disease resistance, and immunocompetence of heat-stressed dwarf and nondwarf chickens. *Br. Poult. Sci.* 35, 203-213.

ANNEXES

ANNEXE

LISTE DE CONTROLE POUR LA CARACTERISATION PHENOTYPIQUE DES POULETS

DIRECTIVES GÉNÉRALES

Cette liste de contrôle est conçue comme un guide. Elle doit être adaptée à votre situation et transformée en questionnaire. Il est recommandé d'enregistrer les différentes catégories en utilisant des codes appropriés (par exemple pour le sexe: 1 = mâle, 2 = femelle, 3 = castré).

- ❖ Les mesures corporelles ne doivent être prises que sur un ensemble représentatif d'animaux adultes (âge estimé à partir de la taille de la crête et des barbillons): environ 100 à 300 femelles et 10 à 30 mâles.
- ❖ Les mensurations sur les animaux matures doivent au moins inclure la longueur du corps, la longueur du tarse, l'envergure des ailes et le tour de poitrine, qui peuvent être pris au centimètre près à l'aide d'un mètre ruban. La pesée doit être effectuée en collectant en même temps des informations sur l'âge des animaux.
- ❖ Des informations descriptives doivent être collectées sur l'effectif et la structure habituels de l'élevage, ainsi que sur les utilisations des animaux.

VARIABLES DISCRÈTES OU QUALITATIVES

1. Morphologie de la plume: normale, frisée, soyeuse.
2. Distribution du plumage: normal, cou nu, plumes sur les tarses et les doigts, favoris et barbe, huppe, bottes de vautour (= manchettes; longues plumes rigides qui dépassent en arrière et en-dessous de l'articulation du pilon [jarret])
3. Motif du plumage (motifs sur les plumes, en indiquant le cas échéant leur emplacement spécifique sur le corps des oiseaux): uni, barrure (préciser si liée au sexe ou autosomale), dentelé (lacé), caillouté
4. Couleur du plumage: blanc, noir, bleu, rouge, froment
5. Couleur de la peau: non pigmentée (blanche), jaune, bleue-noire
6. Couleur du tarse: blanc, jaune, bleu, vert, noir, brun
7. Couleur des oreillons: non pigmenté (blanc), rouge, blanc et rouge
8. Type de crête: unique, en pois, rosacée, en noix, en coussin, en fraise, double, double en cornes (en V), double en couronne (en coupe)
9. Taille de la crête: petite, moyenne, grande
10. Couleur des yeux (fréquence phénotypique, %)
11. Variants squelettiques (fréquence phénotypique, %): normal, hernie céphalique (associée à la huppe), polydactylie, doigts supplémentaires, pattes courtes, naine, sans croupion (absence de queue), ergots multiples.
12. Autres caractères visibles spécifiques et distincts

VARIABLES QUANTITATIVES

1. Poids vif, si une balance ou pont-bascule est disponible.
2. Mensurations chez les mâles et les femelles adultes (à 0,5 cm près): a/ longueur du corps (longueur entre l'extrémité du *rostrum maxillare* (bec) et celle de la *cauda* (queue, sans tenir compte des plumes); le corps de l'oiseau doit être étiré sur toute sa longueur, b/ tour de poitrine (pris à la pointe du *pectus* [poitrine]); c/ longueur du tarse (longueur en cm du tarse depuis l'articulation avec le pilon ; d/ jusqu'à l'ergot de chaque patte) ; e/ envergure des ailes (longueur en cm entre les extrémités des ailes droite et gauche après les avoir étirées de tout leur long).

DONNÉES AU NIVEAU DU TROUPEAU

1. Tous les caractères d'adaptation connus :
 - a) tolérance ou résistance aux maladies et aux parasites
 - b) tolérance aux températures extrêmes
2. Type d'exploitation: ferme paysanne, centre de sélection, exploitation commerciale, station expérimentale, station de multiplication
3. Effectif du troupeau
4. Composition du troupeau (proportion dans le troupeau de): poules, poulettes, coqs, poussins
5. Images typiques d'un coq et d'une poule adultes avec un arrière-plan permettant des comparaisons
6. Image typique d'un troupeau avec son environnement de production habituel comme arrière-plan.
7. Notes sur les utilisations des animaux par ordre d'importance (par exemple la production de viande, d'œufs, de plumes, le rôle socioculturel).

DONNÉES RELATIVES À L'ORIGINE ET AU DÉVELOPPEMENT

1. Nom de la race des poulets échantillonnés
2. Synonymes et noms locaux
3. Contexte de ces noms
4. Races connues pour être les plus étroitement liées à cette race
5. Origine de la race
6. Origine des animaux, s'ils sont importés (nom du pays et année(s) d'importation)
7. Répartition géographique de la race.
8. Types de communautés ou d'exploitations qui élèvent la race: éleveurs commerciaux, éleveurs de subsistance, centres de sélection, stations expérimentales
9. Estimation de l'effectif total, accompagné de l'année de l'estimation et de la source/ référence
10. Toute autre information spécifique à la race

DONNÉES RECUEILLIES SUR LES CARACTÈRES QUI NECESSITENT DE RÉPÉTER LES MESURES

1. Caractéristiques de la production d'œufs (N, moyenne, plage de variation et écart-type):
 - a) Âge au premier œuf (mois)
 - b) Production annuelle d'œufs
 - c) Taille des couvées
 - d) Intervalle entre les couvées (jours)
2. Caractères de qualité des œufs (N, moyenne, marge de variation et écart-type):
 - a) Poids des œufs (g)

- b) Poids de la coquille (g)
- c) Poids de l'albumen (g)
- d) Poids du vitellus (g)
- e) Densité
- f) Couleur de la coquille (blanc/marron/crème ou teintée/autre)
- g) Index de la forme de l'oeuf¹
- 3. Caractéristiques de reproduction:
 - a) Couvaie: courante, quelques fois, rarement
 - b) Fertilité et taux d'éclosion (%) (N, moyenne, marge de variation et écart-type):
 - c) Fertilité (le pourcentage de fertilité correspond au pourcentage d'œufs fertiles parmi les œufs produits)
 - d) Taux d'éclosion calculé à partir des œufs fertiles
 - e) Taux d'éclosion calculé à partir de tous les œufs produits
- 4. Mortalité (%) (N, moyenne, plage de variation et écart-type):
 - a) 0 - 1 semaine
 - b) 1 - 8 semaines
 - c) 8 - 20 semaines
 - d) 20 - n semaines
- 5. Caractéristiques des carcasses (N, moyenne, plage de variation et écart-type) pour les mâles et les femelles séparément:
 - a) Âge à l'abattage
 - b) Poids vif à l'abattage
 - c) Poids de carcasse (éviscéré)
 - d) Rendement à l'abattage

Système de production	Nombre Œufs poule/an	Nombre poussin/an	Nombre œufs pour ventre et consommation
Liberté	20-30	2-3	0
Liberté améliorée 1	40-60	4-8	10-20
Semi-intensif	100	10-12	30-50
Intensif (litière profonde)	160-180	25-30	50-60
Intensif (cage)	180-220	-	180-220

1/ Logement et vaccination Newcastle. (Source: Bessei, 1997)

Article 1

**Caractérisation phénotypique de la poule locale
(*Gallus gallus*) dans le Nord-Ouest algérien**

**Phenotypic characterization of the indigenous chickens
(*Gallus gallus*) in the north-west of Algeria**





Phenotypic characterization of the indigenous chickens (*Gallus gallus*) in the northwest of Algeria

L. Dahloum¹, N. Moula², M. Halbouche¹, and S. Mignon-Grasteau³

¹Faculty of Nature and Life, Department of Agronomy, University of Mostaganem, Mostaganem, 27000, Algeria

²Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège, Liège, Belgium

³INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, France

Correspondence to: L. Dahloum (hdahloum@yahoo.fr)

Published: 16 February 2016

Abstract. This study was conducted to characterize local chickens in the northwest of Algeria based on some phenotypic traits and to look at prediction of body weight from morphometric measurements (linear body). The results indicated that the predominant comb colour was dark red (77.8 %), followed by light red (22.2 %). Tarsus colour was either white (40.9 %), grey (31 %), yellow (15.39 %), dark (8.05 %), or green (4.51 %). Most chickens (81.7 %) had orange eyes, while 10.37 and 7.92 % had yellow and dark-brown eyes, respectively. The dominant earlobe colour was white (73.96 %), followed by red (16.81 %). The remaining proportion included yellow and red-mottled yellow and black earlobes. Proportions of the adaptive genes were low. Incidences of Na, F, Pti, Cr, R, and P genes were 8.82, 0.45, 1.22, 5.54, 3.35, and 4.7 %, respectively. The calculated gene frequencies ranged from 0.002 to 0.045. Variations were also found in quantitative morphological traits. Sex-associated differences ($P < 0.001$) were observed in almost all the parameters evaluated with higher values recorded for males. Phenotypic correlations of body weight and biometric traits ranged from -0.13 to 0.88 and -0.15 to 0.97 for males and females, respectively. From the factor analysis with varimax rotation of the intercorrelated traits, three principal components which accounted for 71.6 and 73.2 % of the total variance were extracted in males and females, respectively. Orthogonal body shape characters derived from the factor analysis accounted for 84.3 and 94.2 % of the variation in body weight of males and females, respectively. Information obtained from this study could be useful in an appropriate management, breeding programmes for selection and utilization of Algerian chicken genetic resources.

1 Introduction

Village chickens make substantial contributions to household food security throughout the developing world, as they represent almost 80 % of poultry production in Africa (Sonaiya, 1997). Indigenous chickens serve as an investment for households in addition to their use as meat and egg sources both for consumption and for selling (Muchadeyi et al., 2007; Moula et al., 2011). These indigenous chickens are generally kept according to an extensive or scavenging system with few or no inputs for housing, feeding, and health care (Mulleni et al., 2012). These breeds are well adapted to the local climatic conditions, feed, and management stresses, with better

resistance to diseases (Iqbal and Pampori, 2008). Some major genes have been found potentially useful to the tropical production environment (Fayeye, 2006). Due to the global climate change, it is expected that the Mediterranean zone will expand northwards to the French Massif Central. In the south, heat waves and droughts are predicted to become more frequent. The ability of livestock to adapt to climatic variations will therefore be a factor of great importance in the Mediterranean region, which reinforces the interest for the conservation of these breeds adapted to these harsh conditions and for their selection for improved performances. This implies that these breeds first have to be characterized (Mbap, 1985). The first phase of characterization involves

the identification of populations based on morphological descriptors that can also provide useful information on the suitability of breeds for selection (Ajayi et al., 2012). Up to now, the body weight (BW) prediction from some morphological traits has not been reported in Algerian indigenous chickens. In Algeria, few studies have concerned the characterization and identification of local populations of chickens (Moula et al., 2009, 2012; Halbouche et al., 2009; Mahammi et al., 2014, 2016). The present study therefore sought first to characterize the local chickens of the northwest of Algeria based on some qualitative and quantitative traits and second to use these criteria to estimate body weight through multiple linear regression.

2 Materials and methods

2.1 Description of the study area

The survey area includes three provinces: Mostaganem, Relizane, and Mascara. It is located in the northwestern part of Algeria between the Mediterranean Sea and Saharan Atlas chain. Different landscapes can be found in the area, due to influence of several topographic factors (latitude, altitude, distance from sea) on climate and, consequently, on geomorphological and pedological processes. Mostaganem (littoral zone) is located at 35°55'52" N, 0°05'21" E, at an altitude of 85 m, has an area of 2269 km² large, and is characterized by a Mediterranean climate. Relizane (plains zone) is located at 35°44'00" N, 0°33'00" E, at an altitude of 139 m, has an area of 4851 km², and is characterized by a semi-arid climate. Finally, Mascara (mountainous zone) is located at 35°23'47" N, 0°08'24" E, at an altitude of 600 m, with an area of 5135 km², and is characterized by a semi-arid climate. The average yearly temperatures and total precipitation amounts are 17.9 °C and 347 mm for Mostaganem, 16.7 °C and 347 mm for Mascara, and 18.3 °C and 349 mm for Relizane, but maximal temperatures are higher by 3.4 to 4.1 °C. Monthly variations in temperatures and precipitation amounts in these regions can be found in Fig. 1.

2.2 Experimental animals and their management

The study has been carried out in 18 districts according to the following distribution: (1) Aïn Nouïssy, Bouguirat, Fornaka, Hadjaj, Oued El Kheïr, and Sayada from Mostaganem province; (2) Beniane, Bouhnifia, El-Bordj, Ghomri, Ghriss, and Tighennif from Mascara province; and (3) Ami Moussa, Mazouna, Oued El Djemâa, Oued Rhiou, Yellel, and Zemmoura from Relizane province. Three separate villages were selected from each district. Villages in close proximity to large cities were avoided to keep at minimum the influence of urban-affiliated farming systems on a typical rural village-based chicken management system (Desta et al., 2013). A total of 1552 chickens including 409 males and 1143 females over ~ 5 months of age were randomly sampled from 180

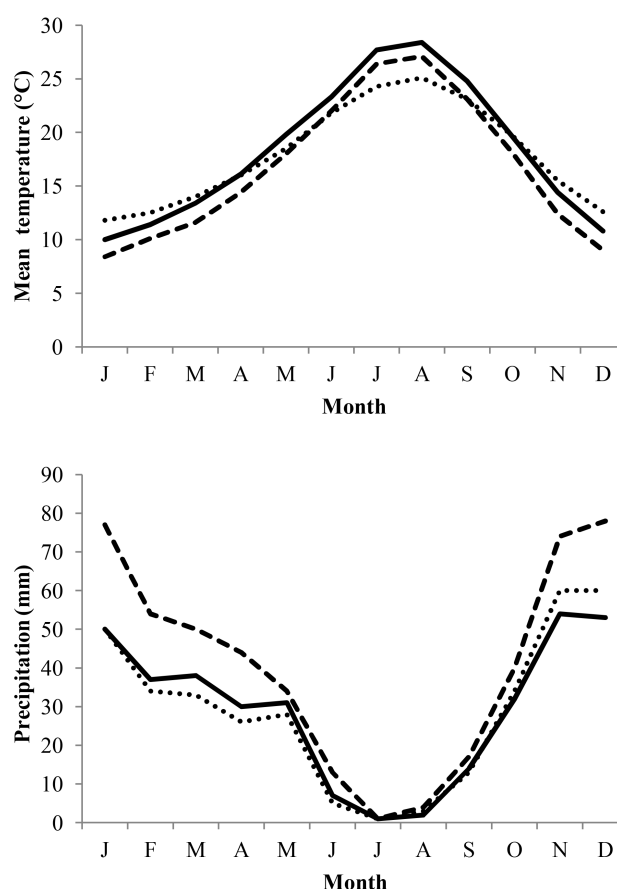


Figure 1. Climatic data on the regions of Mostaganem (dotted line), Relizane (full line), and Mascara (dashed line) obtained from the website www.fr.climate-data.org.

households. The data were collected between April 2012 and May 2013. The chickens were reared by rural farmers according to the traditional scavenging system. During the day-time birds are often left to search for their own food and roam freely close to the homestead. Almost all the farmers in the study areas provided supplementary feed to their birds throughout the year. The chicken shelters were mostly made of bricks, wood, corrugated sheeting, and plastic. These were in poor hygienic condition and did not offer sufficient protection from cold during the night.

2.3 Data collection

For qualitative traits, all the birds were individually observed for various phenotypic attributes, including feather distribution (naked neck, feather tarsus, and crested head) and feather structure (frizzled feather), comb type (simple, rose, and pea comb), comb colour, tarsus colour, earlobe colour, wattle colour, and eye colour as described by FAO (2012). We recorded the genotype for several major genes known for their implication in resistance to heat, such as the naked neck gene (Na / na), frizzle gene (F / f), feathered shank gene

(Pti / pti), rose comb gene (R / r), and crested-head gene (Cr / cr). Occurrence and distribution of the qualitative traits among the population was expressed as a percentage of the total number of birds. The theoretical frequency p of the dominant alleles (Na, F, Pti, R, Cr) and the theoretical frequency q of the recessive alleles (na, f, pti, r, and cr) were calculated using the Hardy–Weinberg equilibrium as follows:

$$q = \sqrt{\frac{m}{t}} \text{ and } p = 1 - q, \quad (1)$$

where m is the observed number of birds with recessive phenotypes under consideration and t the total number of birds.

Nine quantitative traits were taken from 778 birds, of which 456 were females and 322 males. Body length (BL, in cm), wing span (WS, in cm), tarsus length (TL, in cm), tarsus circumference (TC, in cm), beak length (BkL, in cm), wattle length (WL, in cm), and comb length (CL, in cm) were measured using a tailor's tape, while breast width (BrW, in cm) was measured using a calliper. Live body weight (LBW, in g) was taken by direct measurement using a digital 5 kg scale. All measurements and weighings were taken by the same person to avoid individual variations.

2.4 Statistical analysis

A chi-square test (χ^2) was used to compare proportions for comb colour, tarsus colour, eye colour, earlobe colour, and those of dominant alleles of major genes between bird populations sampled in the three provinces and between males and females. This analysis followed the procedure of Marascuilo (1966) to determine which pairs of provinces have statistically differing qualitative traits proportions.

Least-squares means and standard errors (SE) were calculated for body weight and body linear measurements. Province and sex effect on each parameter was assessed by the following general linear model (GLM) of SAS (Statistical Analysis System, 2001):

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}, \quad (2)$$

with y_{ijk} as the studied parameters measured on the hen, μ the mean, A_i the effect of province (i : Mascara, Mostaganem, and Relizane), B_j sex effect (j : male and female), $(AB)_{ij}$ the interaction between province and sex, and e_{ijk} the residual. Tukey's test was used to correct for multiple comparisons for the province effect and for the interaction between sex and province. Differences were considered significant at $P < 0.05$.

In a second step, the relationship between morphometric traits was assessed through the Pearson coefficients of correlation between quantitative traits.

In a third step, a principal components analysis (PCA) was done to propose linear relationship equations between morphometric traits that explain the largest part of variability between our populations, and which are statistically independent by construction. Bartlett's test of sphericity was used

to check whether the correlation matrix between traits was significant or not. Data were also inspected for multiple collinearity and singularity.

In a last step, a multiple regression procedure using a stepwise variable selection was used to obtain models of prediction of body weight from body measurements and from established principal components factors:

$$BW = a + b_1X_1 + \dots + b_kX_k, \quad (3)$$

$$BW = c + d_1PC_1 + \dots + d_kPC_k, \quad (4)$$

where BW is the body weight, a and c are the regression intercepts, b_i and d_i are the i th partial regression coefficients of the i th linear body measurement or principal component, and X_i and PC_i are the i th morphometric traits or principal component. Cumulative proportion of variance criterion was employed in determining the number of principal components to extract. Statistical analysis was carried out using SPSS version 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and R Commander version 3.1.1.

3 Results and discussion

3.1 Frequency of major genes

Qualitative traits recorded on chickens in the study area are presented in Table 1. The predominant comb colour was dark red (77.8%), which is consistent with results obtained by Moula et al. (2012) on indigenous chickens in Kabylie. Males had significantly darker combs than females. This finding agrees with results of Guni et al. (2013) in Tanzania and Liyanage et al. (2015) in Sri Lanka. As the intensity of the red colouration is an indication of the quality of sperm in the case of male birds (Navara et al., 2012), our results indicate that there is probably good fertility in the birds investigated. Moreover, it is biologically important to study this phenotype because it is an indicator of chickens' health and egg laying status (Hume, 2011).

Various leg colours were observed in the current study. Overall, white and grey tarsi were much more frequent than yellow and black tarsi, with green being the least frequent. A region effect was observed for this trait, due to a higher occurrence of black ($P < 0.001$) and green colouring ($P < 0.05$) and a lower occurrence ($P < 0.001$) of white colouring in Mostaganem province (12.6%). Our study thus highlighted the large variability in tarsus colour between local populations as previously studies reported more frequent white and yellow tarsi in the humid forest zone of Cameroon (Fosta et al., 2010) and in the districts of Jarso and Horro in Ethiopia (Desta et al., 2013) but more frequent black tarsi in Nigeria (Egahi et al., 2010) and Libya (El-Safty, 2012). The occurrence of various types of tarsus colours in this study might have been due to combinations of pigment-controlling genes responsible for colour determination. We also more frequently observed green tarsus in males than in females

Table 1. Occurrence (%) of comb colour, tarsus colour, eye colour, and earlobe colour of 1552 local chickens from the northwest of Algeria summarized by province and by sex.

Character	Province			χ^2	Sex		χ^2	Total
	Mostaganem	Relizane	Mascara		Males	Females		
Number	<i>N</i> = 570	<i>N</i> = 587	<i>N</i> = 395		<i>N</i> = 409	<i>N</i> = 1143		<i>N</i> = 1552
Comb colour								
Dark red	75.79 ^a	78.36 ^a	80.00 ^a	2.55ns	82.40	76.20	6.70**	77.83
Light red	24.21 ^a	20.61 ^a	20.00 ^a	2.55ns	17.60	23.79	6.70**	22.16
Tarsus colour								
Grey	32.98 ^a	29.13 ^a	31.14 ^a	2.00ns	28.70	31.85	1.48ns	31.05
White	32.98 ^a	46.51 ^b	44.30 ^b	24.30***	38.60	41.80	5.77*	40.90
Yellow	15.09 ^a	14.14 ^a	17.72 ^a	2.40ns	15.90	15.22	0.10ns	15.39
Black	12.63 ^b	6.13 ^a	4.30 ^a	26.50***	9.00	7.70	0.74ns	8.05
Green	6.32 ^b	4.09 ^{ab}	2.53 ^a	8.14*	7.90	3.41	13.43***	4.51
Eye colour								
Orange	78.60 ^a	85.86 ^b	80.00 ^{ab}	11.02***	83.40	81.10	1.04ns	81.70
Brown	8.07 ^a	7.67 ^a	8.10 ^a	0.08ns	7.09	8.22	0.53ns	7.92
Yellow	13.33 ^b	6.47 ^a	11.90 ^b	15.90***	9.50	10.67	0.42ns	10.37
Earlobe colour								
White	73.51 ^a	73.94 ^a	74.68 ^a	0.16ns	71.60	74.80	1.57ns	73.96
Red	15.61 ^a	17.55 ^a	17.47 ^a	0.93ns	21.55	15.14	8.77**	16.81
Other ¹	10.88 ^a	8.51 ^a	7.85 ^a	3.10ns	6.85	10.06	8.76**	9.21

Percentages within a row with different superscripts are significantly different: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; ns: not significant ($P \geq 0.05$); ¹ yellow and red-mottled yellow and black earlobes.

($P < 0.001$). However, white tarsus was more commonly observed in females than males ($P < 0.05$). Frequencies of other colours did not show a sex effect ($P > 0.05$). According to Desta et al. (2013), the low incidence of green-shanked chickens observed in this study is not surprising, because it is unfavourably correlated with adult viability. The variability in eye colour is much less than for tarsus as orange represents 81.7 % of the total, with yellow and brown showing much lower frequencies, consistent with data in the literature (Fosta et al., 2010). Variation in eye colour to a large extent depends on the pigmentation (carotenoid pigments) and blood supply to a number of structures within the eye (Crawford, 1990, as cited in Eskindir et al., 2013). Differences between districts for this feature were observed. The proportion of orange-eyed chickens was higher in Relizane ($P < 0.001$) than in Mostaganem, while yellow eyes were less frequent ($P < 0.001$). Variations were also observed in earlobe colour. White earlobes were the most frequent (73.96 %) in the three regions, followed by red earlobes (16.81 %). This is consistent with the findings of other researchers (Roxas et al., 1996; Egahi et al., 2010; Faruque et al., 2010). White earlobe is a characteristic feature of chickens of the Mediterranean region (Sørensen, 2010). The remaining proportion (9.21 %) is a mix of yellow, red-mottled, yellow, and black earlobes. A higher proportion of red earlobe chickens was observed in males ($P < 0.01$).

The frequencies of the dominant alleles of major genes in the population were quite low, ranging between 0.45 and 8.82 % depending on the gene considered (Table 2), consistent with previous findings of Abdelqader et al. (2008) in Jordan, Sola-Ojo et al. (2011) and Fajemilehin (2010) in Nigeria, and Hassaballah et al. (2014) in Chad. The low frequency of these major genes, despite the advantage they give for heat stress adaptation, is probably attributable to social reasons, as naked neck and frizzle-feathered birds are judged ugly and thus sold at lower prices (Yakubu, 2010). Moreover, Fajemilehin (2010) reported that these birds are used in rituals and sacrifices as people consider these birds to be either fetishes or witches. Finally, in the case of the frizzle gene, the low frequency could also be due to the lethality of the gene in its homozygotic state (Haaren-Kiso et al., 1995, as cited in Fayeye et al., 2006).

Frequencies of the dominant alleles varied among regions for all genes except pea comb and crested head. The same pattern was observed for all genes, with a significantly ($P < 0.01$) lower frequency of dominant alleles in the region of Mostaganem than in Relizane, with Mascara showing an intermediate value. This might be explained by the ecological characteristics of the areas (plains vs. mountains, urban vs. rural) as indicated by Halbouche et al. (2012) and/or significant variation in farmers' preferences for some particular mutant traits.

Table 2. Occurrence (%) of major genes carriers in 1552 local chickens from the northwest of Algeria summarized by province and by sex.

Phenotype	Province			χ^2	Sex		χ^2	Total
	Mostaganem	Relizane	Mascara		Males	Females		
<i>N</i>	570	587	395		409	1143		1552
[Na]	5.61 ^a	11.40 ^{ab}	9.60 ^b	12.50**	10.51	8.22	1.96ns	8.82
[F]	0.00 ^a	1.02 ^b	0.25 ^{ab}	7.90*	0.73	0.35	0.98ns	0.45
[Pti]	0.20 ^a	2.00 ^b	1.52 ^{ab}	8.70*	1.95	0.96	2.46ns	1.22
[R]	0.70 ^a	5.60 ^b	3.80 ^b	21.90**	6.11	2.36	13.08**	3.35
[P]	5.01 ^a	3.20 ^a	6.30 ^a	5.30ns	0.49	6.21	22.00**	4.70
[Cr]	5.30 ^a	4.30 ^a	7.90 ^a	5.90ns	1.96	6.82	13.64**	5.54
[Other ¹]	83.20 ^b	72.50 ^a	70.63 ^a	26.30**	78.25	75.07	1.65ns	75.90

ns: Not significant ($P \geq 0.05$); * $P < 0.01$; ** $P < 0.001$; ¹ Individuals exhibiting none of the characters studied.

Table 3. Percentages (%) and allelic frequencies of visible genes from 1552 local chickens in the northwest of Algeria.

Character	Allele	Expected	Observed	Percentage	Allelic frequency
Naked neck	Na	1164	137	8.82	0.045
Other*	Na ⁺	388	1415	91.18	0.955
Frizzle	F	1040	7	0.45	0.002
Other	f ⁺	512	1545	99.55	0.997
Feathered tarsus	Pti	1164	19	1.22	0.006
Other	pti ⁺	388	1533	98.78	0.994
Rose comb	R	1164	52	3.35	0.017
Other	r ⁺	388	1500	96.65	0.983
Pea comb	P	1164	73	4.70	0.024
Other	p ⁺	388	1479	95.30	0.976
Crested	Cr	1164	86	5.54	0.030
Other	cr ⁺	388	1466	94.46	0.970

* Individuals exhibiting none of the characters studied.

A higher proportion of crest-headed birds and pea combs were observed in females than in males ($P < 0.001$), while the rose comb chickens were observed more in males than in females ($P < 0.001$). However, the exact number and geographical distribution of these mutant phenotypes are not clearly established in Algeria, and only a very limited number of works have been published (Moula et al., 2009; Mahammi et al., 2014).

Table 3 shows the gene frequencies of naked neck, frizzled, ptilopody, crested, rose comb, and pea comb birds as 0.045, 0.002, 0.006, 0.03, 0.017, and 0.024 respectively. The expected phenotypic ratio and gene frequencies for the feather distribution gene (F/f) were calculated with the assumption that the number of homozygous dominant individuals (FF) equals zero. This is because the homozygous dominant FF is mostly lethal (Osewa, 2003, as cited in Sola-Ojo et al., 2011). The low frequencies for these dominant genes suggest that they are at the brink of extinction. The results of

this study agree with that of Sola-Ojo et al. (2011) where the calculated gene frequencies of 0.077 was obtained for naked neck, 0.078 for frizzle, 0.076 for ptilopody, and 0.074 for crested in the Nigerian Fulani ecotype chickens. Incidence of pea and rose comb reported in this study is consistent with the results of Ikeobi et al. (2001), which showed gene frequencies of 0.02 and 0.01, respectively, in Nigerian local chickens.

This situation requires scientific concern to ensure that these adaptive genes are preserved and available for utilization in future livestock improvement programmes. Naked neck and frizzle gene frequency should be increased as they have been shown to have a favourable effect on production traits under heat stress (Mathur and Horst, 1988). Wright et al. (2009) noted that the pea comb is an adaptive trait in cold climates as it reduces heat loss and makes the chicken less susceptible to frost lesions. Shoffner et al. (1993) also observed that birds with ptilopody had better body weight

Table 4. Least-squares means (LSM $\pm$ SE) of province and sex effect for live body weight (g) and eight linear measurements (cm) of 778 local chickens from the northwest of Algeria (Mostaganem: males = 106, females = 145; Relizane: males = 102, females = 163; Mascara: males = 114, females = 148). Explanations on trait abbreviations can be found in Sect. 2.3.

Trait	Sex	Province ¹			All	P value ²			R ²
		Mostaganem	Relizane	Mascara		Province (P)	Sex (S)	P $\times$ S	
LBW	M	1637.57 $\pm$ 25.20 ^a	1814.25 $\pm$ 25.69 ^b	1702.00 $\pm$ 24.30 ^a	1716 $\pm$ 17.53	****	****	ns	0.23
	F	1404.24 $\pm$ 21.55 ^a	1494.45 $\pm$ 20.32 ^b	1450.53 $\pm$ 21.33 ^{ab}	1451 $\pm$ 10.41				
	Total	1502.78 $\pm$ 18.39 ^b	1617.54 $\pm$ 17.90 ^c	1559.95 $\pm$ 18.00 ^a					
BL	M	30.07 $\pm$ 0.15 ^b	30.93 $\pm$ 0.16 ^a	30.75 $\pm$ 0.14 ^a	30.6 $\pm$ 0.08	***	****	****	0.30
	F	28.86 $\pm$ 0.13 ^b	28.88 $\pm$ 0.12 ^b	28.24 $\pm$ 0.12 ^a	28.7 $\pm$ 0.08				
	Total	29.36 $\pm$ 0.12 ^{ab}	29.67 $\pm$ 0.11 ^b	29.33 $\pm$ 0.11 ^a					
WS	M	46.82 $\pm$ 0.37 ^b	47.60 $\pm$ 0.38 ^b	46.30 $\pm$ 0.35 ^a	46.9 $\pm$ 0.11	****	****	*	0.31
	F	40.97 $\pm$ 0.31 ^a	43.09 $\pm$ 0.30 ^b	41.79 $\pm$ 0.31 ^a	42.0 $\pm$ 0.22				
	Total	43.44 $\pm$ 0.28 ^a	44.83 $\pm$ 0.28 ^b	43.76 $\pm$ 0.28 ^a					
TL	M	9.49 $\pm$ 0.10 ^b	10.15 $\pm$ 0.10 ^a	9.90 $\pm$ 0.09 ^a	9.85 $\pm$ 0.06	*	****	****	0.24
	F	8.94 $\pm$ 0.08 ^a	8.61 $\pm$ 0.08 ^b	8.93 $\pm$ 0.08 ^a	8.81 $\pm$ 0.04				
	Total	9.18 $\pm$ 0.07	9.20 $\pm$ 0.07	9.35 $\pm$ 0.07					
TC	M	4.60 $\pm$ 0.05 ^a	4.82 $\pm$ 0.05 ^b	4.50 $\pm$ 0.05 ^a	4.63 $\pm$ 0.02	****	****	ns	0.37
	F	3.69 $\pm$ 0.05 ^a	4.02 $\pm$ 0.04 ^b	3.77 $\pm$ 0.04 ^a	3.83 $\pm$ 0.03				
	Total	4.07 $\pm$ 0.04 ^a	4.33 $\pm$ 0.04 ^b	4.09 $\pm$ 0.04 ^a					
BrW	M	5.80 $\pm$ 0.07 ^b	5.49 $\pm$ 0.07 ^a	5.54 $\pm$ 0.07 ^a	5.61 $\pm$ 0.04	ns	****	****	0.10
	F	5.90 $\pm$ 0.06 ^a	6.14 $\pm$ 0.05 ^b	5.97 $\pm$ 0.06 ^a	6.01 $\pm$ 0.03				
	Total	5.86 $\pm$ 0.05	5.89 $\pm$ 0.05	5.78 $\pm$ 0.05					
BkL	M	2.44 $\pm$ 0.04	2.43 $\pm$ 0.04	2.45 $\pm$ 0.03	2.44 $\pm$ 0.17	ns	**	ns	0.05
	F	2.39 $\pm$ 0.03	2.38 $\pm$ 0.03	2.38 $\pm$ 0.03	2.38 $\pm$ 0.02				
	Total	2.41 $\pm$ 0.02	2.40 $\pm$ 0.02	2.41 $\pm$ 0.02					
CH	M	3.56 $\pm$ 0.05 ^b	3.61 $\pm$ 0.05 ^b	3.77 $\pm$ 0.05 ^a	3.65 $\pm$ 0.03	**	****	***	0.74
	F	1.85 $\pm$ 0.04 ^a	1.97 $\pm$ 0.04 ^b	1.85 $\pm$ 0.04 ^a	1.89 $\pm$ 0.02				
	Total	2.57 $\pm$ 0.06	2.60 $\pm$ 0.6	2.69 $\pm$ 0.06					
WL	M	2.92 $\pm$ 0.05 ^a	3.08 $\pm$ 0.05 ^b	3.01 $\pm$ 0.05 ^{ab}	3.00 $\pm$ 0.03	ns	****	**	0.50
	F	1.97 $\pm$ 0.05	1.87 $\pm$ 0.04	1.86 $\pm$ 0.05	1.89 $\pm$ 0.02				
	Total	2.37 $\pm$ 0.05	2.34 $\pm$ 0.05	2.36 $\pm$ 0.05					

¹ Least-squares means within an effect (province or interaction between province and sex) with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). ² P, S, P $\times$ S: province, sex, and interaction between province and sex fixed effects; ns: $P \geq 0.10$; * $P < 0.10$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.01$; **** $P < 0.001$.

and egg production. However, the rose comb gene should be counter-selected as it is associated with reduced fertility, especially in homozygous roosters (Buckland et al., 1969).

3.2 Province and sex effect on quantitative traits

Descriptive statistics for live weight and body measurement traits of adult chickens in the northwest of Algeria are presented in Table 4. The average live weight of the sampled chickens was 1716 ± 17.53 g for males and 1451 ± 10.41 g for females, which is higher than the findings of Moula et al. (2012) (males = 1427 ± 18 g; females = 1144 ± 18 g) for Kabylie chickens from Algeria and Getu et al. (2014) (males = 1630 ± 0.03 g; females = 1370 ± 0.02 g) for chickens from north Gondar zone in Ethiopia. Higher live weights were reported from Fulani ecotype chickens in Nigeria

(males = 2400 ± 0.14 g; females = 1500 ± 0.14 g) (Jesuyon and Salako, 2013) and for Southern Highlands chickens of Tanzania (males = 2095 ± 29.9 g; females = 1525 ± 15.9 g) (Guni et al., 2013). According to Desta et al. (2013), live weight may vary because of inaccuracies of weighing scales, individual differences in measuring accuracy, age of the bird, and season of the year in which the chicken is weighed (during seasons of relatively better feed supply most likely chickens have higher live weight). Moreover, genetic and other environmental (stochastic) factors possibly affect the live weight of village chickens.

Results showed that live weight and all morphometric traits showed a significant sexual dimorphism in favour of males, except for breast width, which was 6.7 % larger in females. Sexual dimorphism was especially pronounced for comb height and wattle length, i.e. two traits that are highly

Table 5. Pearson correlations between traits recorded for males (below diagonal divide, $n = 322$) and females (above diagonal divide, $n = 456$). Correlations that are significantly different from zero are written in italics.

Traits	LBW	BL	WS	TL	TC	BrW	BkL	CH	WL
LBW	–	<i>0.29</i>	<i>0.97</i>	<i>0.66</i>	<i>0.89</i>	<i>0.72</i>	<i>–0.15</i>	<i>0.6</i>	<i>–0.15</i>
BL	<i>0.73</i>	–	<i>0.31</i>	<i>0.36</i>	<i>0.40</i>	<i>–0.03</i>	<i>–0.07</i>	<i>–0.14</i>	<i>–0.02</i>
WS	<i>0.80</i>	<i>0.55</i>	–	<i>0.63</i>	<i>0.90</i>	<i>0.68</i>	<i>–0.17</i>	<i>0.58</i>	<i>–0.14</i>
TL	<i>0.88</i>	<i>0.76</i>	<i>0.75</i>	–	<i>0.54</i>	<i>0.36</i>	<i>–0.04</i>	<i>0.30</i>	<i>–0.17</i>
TC	<i>0.65</i>	<i>0.45</i>	<i>0.68</i>	<i>0.56</i>	–	<i>0.51</i>	<i>–0.13</i>	<i>0.37</i>	<i>–0.13</i>
BrW	<i>–0.05</i>	<i>0.08</i>	<i>0.22</i>	<i>0.25</i>	<i>–0.11</i>	–	<i>–0.18</i>	<i>0.64</i>	<i>–0.14</i>
BkL	<i>–0.13</i>	<i>–0.14</i>	<i>–0.19</i>	<i>–0.13</i>	<i>–0.21</i>	<i>–0.04</i>	–	<i>–0.11</i>	<i>–0.04</i>
CH	<i>0.59</i>	<i>0.43</i>	<i>0.45</i>	<i>0.69</i>	<i>0.14</i>	<i>0.29</i>	<i>–0.06</i>	–	<i>–0.10</i>
WL	<i>0.27</i>	<i>0.21</i>	<i>0.19</i>	<i>0.20</i>	<i>0.16</i>	<i>–0.13</i>	<i>–0.01</i>	<i>0.10</i>	–

involved in sexual selection (+93.1 and +58.7% in males compared to females, respectively). The size of the combs and wattles are associated with gonad development and secretion of sex hormones (Nesheim et al., 1979). It was moderate (between 11.8 and 20.9%) for traits related to general size of the birds and lower for body length and beak length (less than 6.6%). The effect of province was highly significant ($P < 0.001$) for live body weight, wing span, and tarsus circumference. As for major genes frequencies, there was a gradient between Relizane birds with higher values and Mostaganem birds with lower values, with Mascara birds showing intermediate values. According to Abdelqader et al. (2008), the wide variations in local chicken performance are ascribed in their study to many factors, mainly the variations in management practices between households, the effects of crossbreeding with exotic lines, and the availability of scavenging feed resources and feed supplements. In addition, empirical support relating morphometric variation and regional climates in birds is provided by a number of studies (Rand, 1936; James, 1970; Power, 1970, as cited in Bulgarella et al., 2007).

Finally, the interaction of between region and sex was highly significant ($P < 0.01$) for body length, tarsus length, breast width, and comb height. For body length and tarsus length, birds of the region of Mostaganem had the lowest values among the three regions in males but the highest in females. It was also true for wattle length but with a much lower amplitude. Conversely, for breast width, males from Mostaganem regions showed the highest values and females the lowest values. Otherwise, ecotype $\times$ sex interaction effects was highly significant ($P < 0.01$) in BrW:LBW ratio (data not shown). The highest values were recorded in male and female birds of Mostaganem.

3.3 Phenotypic correlations between traits

Pairwise correlations between body weight and linear body measurements for males and females are presented in Table 5. These correlations were generally high in both sexes, except for beak length and wattle length. This has been the

trend in most studies (Semakula et al., 2011; Ajayi et al., 2012; Egena et al., 2014). The high and significant correlations between body measurements and body weight suggest that we would have a good predictability of body weight based on other measures. This is because an increase in any of the body measurement will invariably lead to a corresponding increase in the body weight of the chickens (Ajayi et al., 2008). A similar observation was reported by Udeh and Ogbu (2011). Correlations between traits within males and females were generally comparable, but in some cases we observed a large difference of correlations between both sexes. This was the case for correlations between breast width and either body weight, wing span, tarsus circumference, or comb height, which were higher in females than in males. Conversely, the correlations between body length and either body weight, tarsus length, or comb height were larger in males than in females. Studying morphometric traits and correlation between body weight and body size traits in Isa Brown and Ilorin ecotype chickens, Fayeye et al. (2014) observed that linear body measurements measured on male birds were more highly correlated with body weight (0.68–0.95) than in female chickens, except for breast breadth. Semakula et al. (2011), working with indigenous chickens of the Lake Victoria Crescent Agro-ecological Zone in Uganda, reported that all measurements were strongly correlated with body weight in males, while in females all measurements were significant except body length and femur length in 6–8-month-old chickens. These differences between males and females suggest that the traits included to predict body weight from body measurements would differ between males and females.

3.4 Principal components analysis

The principal component matrices for males and females chickens are presented in Table 6. The sampling adequacy was 0.68 for males and 0.67 for females, above the 0.50 limit value recommended by Kaiser (1974) for a reliable interpretation of the analysis. Communalities ranged between 0.57 and 0.91 for males and 0.55 and 0.92 for females, in-

Table 6. Eigenvalues and share of total variance along with factor loading and communalities for eight linear body measurements of male and female chickens. Bold indicates variables with a strong association ($|r| > 0.7$) with the principal component.

Traits	Males				Females			
	PC1	PC2	PC3	Communality	PC1	PC2	PC3	Communality
BL	0.80	−0.06	−0.04	0.65	−0.29	0.85	−0.08	0.82
WS	0.84	0.01	−0.25	0.77	0.71	0.65	−0.03	0.92
TL	0.94	0.13	−0.03	0.91	0.34	0.70	0.17	0.63
TC	0.64	−0.37	−0.44	0.74	0.51	0.74	−0.02	0.81
BrW	0.23	0.81	0.06	0.71	0.86	0.17	−0.03	0.77
BkL	−0.12	−0.05	0.83	0.71	−0.23	−0.09	0.73	0.59
CH	0.69	0.40	0.21	0.68	0.87	0.00	0.02	0.76
WL	0.36	−0.56	0.35	0.57	−0.20	−0.11	−0.71	0.55
Eigenvalue	3.860	1.305	1.034		3.424	1.364	1.066	
Percentage of variance explained by the axis	42.33	16.31	12.93		42.79	17.05	13.33	
Cumulative percentage of variance explained by the axes	42.33	58.64	71.57		42.79	59.84	73.17	

dicating that a good amount of variance has been accounted for by the component solution. Similarly high communalities have been reported by Egena et al. (2014) in Nigerian indigenous chickens raised according to an extensive management system and in different breeds of broiler chickens (Mendes, 2011; Ajayi et al., 2012).

In this study, three principal components with eigenvalues higher than 1 were extracted for each sex and accounted for 71.6 and 73.2 % of the total variance in males and in females, respectively. In males, PC1 is comprised of the general size of the birds, with high importance of tarsus length, wing span, and body length. The second and third axes were almost exclusively explained by breast width for PC2 and beak length for PC3. Consistent with the difference in the matrix of correlations between traits in males and females, the constitution of PCA axes was different in both sexes. In females, PC1 was more correlated with comb height, breast width, and wing span. PC2 was determined by body length, tarsus circumference, and tarsus length (0.70) and was the equivalent of axis 1 in males – i.e. it represented general size. As for males, the third axis had a high contribution of beak length, which also represented an opposite direction between beak and wattle length. The present findings are consistent with the literature, in which general size is generally reported as the main factor of variation and thus constitutive of the first axis of PCA in chickens, rabbits, or turkeys (Shahin and Hassan, 2000; Ajayi et al., 2011; Egena et al., 2014). The principal component analysis allowed for better understanding of the complex correlations among the traits and reduced the number of traits, using only the three first PCs, without loss of information.

3.5 Prediction of body weight

Body weight is an important attribute in poultry production as it forms the basis for not only assessing growth and feed efficiency but also making economic and management decisions. However, under some circumstances, a scale may not be available. Practical difficulties in measuring live weight at field level have led scientists to develop prediction models to estimate live weight using linear body measurements (Assan, 2013). Multiple regression models are useful for predicting body weight of the animals, but their biological interpretation may be misleading because of the number of predicted variables included in the model (Mendes, 2009). At the same time, the co-linearity between predictor variables could lead to incorrect identification of the most important predictors (Sharma, 1996), and this would result in incorrect conclusions about relationships between dependent and predictor variables. This can be avoided by using the principal components analysis (PCA) in place of the original variables since the principal components (PCs) are orthogonal and uncorrelated (Yakubu et al., 2009; Ogah, 2011).

As can be seen from Table 7, TL alone accounted for 78 % of the variation in body weight in males. However, the precision of the regression could be increased up to 91.3 % when including BrW, WS, CH, and BL. The first research that related BW and tarsus length in one breed of chickens had an R^2 of 0.66 (Lerner, 1937, as cited in Latshaw and Bishop, 2001). In females chickens (Table 8), WS alone accounted for 97.2 % of the variation in BW and was nearly not improved by the addition of BrW, TL, TC, CH, and BL in the regression equation. Liyanage et al. (2015), using a regression analysis, showed significant relationships of body weight with every linear trait, while chest circumference and shank length were the best predictors of live weight in vil-

Table 7. Final stepwise equations for prediction of body weight for males.

Step	Predictor	Intercept	<i>a</i>	SE	Probability	<i>R</i> ²
Original body measures						
1	TL	−749.2	250.4	7.41	<0.001	0.781
2	TL BrW	−191.7	271.2 −135.7	10.06	<0.001	0.860
3	TL BrW WS	−1906.3	202.4 −141.2 51.6	4.12	<0.001	0.907
4	TL BrW WS CH	−1979.5	185.2 −146.1 53.7 47.3	14.45	<0.001	0.910
5	TL BrW WS CH BL	−2452.1	160.4 −142.1 54.7 56.5 20.1	5.73	<0.001	0.913
Final predictive equation: LBW = −2452.1 + 160.4 TL − 142 BrW + 54.7 WS + 56.5 CH + 20.1 BL						
Principal component axes						
1	PC1	1716.35	−152.9	7.62	<0.001	0.812
2	PC1 PC2	1716.35	−152.9 47.8	7.13	<0.001	0.836
3	PC1 PC2 PC3	1716.35	283 −48.8 −31.6	6.70	<0.001	0.843
Final predictive equation: LBW = 1716 + 283 PC1 − 48.8 PC2 − 31.6 PC3						

PC1, PC2, and PC3: first, second, and third principal component, respectively; *a*: regression coefficient; *R*²: coefficient of determination; SE: standard error of model.

lage chickens in Sri Lanka. Yakubu et al. (2009) and Ajayi et al. (2012) reported that the highest contributor to the variation in body weight in normal feathered Nigerian indigenous chickens was body length, which again highlights the importance of determining specific equations for local populations, which differ for a lot of characteristics, including genetic background and environmental factors of production.

According to the results of PCA, using PC1 as a single predictor already explained 81.2 and 80 % of the total variability in body weight in males and females, respectively. The accuracy of the models was further improved (*R*² = 0.843 for males and *R*² = 0.942 for females) when including other PC axes in the regression equation. The lower *R*² values obtained with the regressions on PC axes than on original measures suggest that the co-linearity between traits leads to overestimation of the goodness of fit of the equation based on original measures. Many researchers have used the independent factor scores derived from multivariate technique of

principal component factor analysis in chicken data. Egena et al. (2014) reported that the combination of PC1 and PC2 resulted in *R*² = 0.684 for estimation of BW in Nigerian chickens raised according to an extensive management system. Likewise, Ayayi et al. (2012) reported that the combination of PC1 and PC2 explained 82, 74, 78.8, and 75.5 % of the total variability in BW in normal-feathered, frizzle-feathered, naked neck, and Anak Titan birds in the order listed. Ibe (1989) analysed the body weight of *Gallus gallus* at different ages, together with four body linear measurements: breast and thigh widths, and shank and keel lengths. In all ages the first two principal components explained at least 85 % of the total variation.

This study, however, did not have the specific objective of obtaining principal components to be used in chicken breeding programmes, because, in genetic terms, every ecological niche (i.e. ecological zone or environment) is governed by its own peculiar variability (Egena et al., 2014). Our objec-

Table 8. Final stepwise equations for prediction of body weight for females.

Step	Predictor	Intercept	<i>a</i>	SE	Probability	<i>R</i> ²
Original body measures						
1	WS	−493	46.3	0.37	<0.001	0.972
2	WS BrW	−533.6	43.6 25.8	3.06	<0.001	0.976
3	WS BrW TL	−612.2	40.6 29.2 20.4	2.04	<0.001	0.980
4	WS BrW TL TC	−579.6	35.8 35.2 21.8 32.4	5.43	<0.001	0.982
5	WS BrW TL TC CH	−546.9	33.6 31.3 22.8 42.7 18.4	3.92	<0.001	0.982
6	WS BrW TL TC CH BkL	−562.5	33.9 31.5 22.7 42.5 17.0 10.3	3.45	0.003	0.983
Final predictive equation: LBW = −562.5 + 33.9 WS + 31.5 BrW + 22.7 TL + 42.5 TC + 17.0 CH + 10.3 BkL						
Principal component axes						
1	PC1	1451.5	161.8	7.15	<0.001	0.800
2	PC1 PC2	1451.5	161.8 142.7	2.52	<0.001	0.942

Final predictive equation: LBW = 1451.5 + 161.8 PC1 + 142 PC2

PC1 and PC2: first and second principal component, respectively; *a*: regression coefficient; *R*²: coefficient of determination; SE: standard error of model.

tive was to show that the use of orthogonal variables gave a better and more dependable estimation of body weight since it was able to break multicollinearity, a problem commonly connected with the use of interdependent original body dimensions (Egena et al., 2014).

4 Conclusions

This study has highlighted a great phenotypic and phanerotypic diversity of local poultry genetic resources found in the Algerian rural areas, reared extensively for household consumption and obtaining extra income. Phenotypes observed were unevenly distributed across space, reflecting the adaptive fitness of birds to areas according to specific skills of each phenotype. Other attributes of economic interest in trop-

ical and subtropical conditions were also observed, such as naked neck and frizzled. However, the low frequencies of major genes' dominant alleles under study would suggest that the carrier animals are in serious danger of extinction and are currently endangered. Otherwise, the use of factor and principal component scores in multiple linear regression analysis has been shown to be useful in prediction of body weight of indigenous chickens. This might present valuable knowledge for genetically improving body weight. Therefore, indigenous chickens deserve special attention and conservation. These results may be useful in the context of breeding programmes for the future creation of strains that are resistant to harsh climates and efficient in terms of production.

Acknowledgements. The authors wish to thank A. Chibani for revising the English version of the manuscript and all the indigenous chicken farmers in all the regions visited for accepting to be interviewed and providing their chickens for use in this study. Appreciation is also extended to O. M. A. Jesuyon, the anonymous reviewer, and the journal editor for their valuable comments.

Edited by: K. Wimmers

Reviewed by: O. M. A. Jesuyon and one anonymous referee

References

- Abdelqader, A., Wollny, C. B. A., and Gauly, M.: On-farm investigation of local chicken biodiversity and performance potentials in rural areas of Jordan, *Anim. Genet. Resour. Inform.*, 43, 49–58, doi:10.1017/S1014233900002728, 2008.
- Ajayi, F. O., Ejiofor, O., and Ironke, M. O.: Estimation of body weight from linear body measurements in two commercial meat-type chickens, *Global J. Agricult. Sci.*, 7, 57–59, 2008.
- Ajayi, O. O., Yakubu, A., Jayeola, O. O., Imumorin, I. G., Takeet, M. I., Ozoje, M. O., Ikeobi, C. O. N., and Peters S. O.: Multivariate analysis of sexual size dimorphism in local turkeys (*Meleagris gallopavo*) in Nigeria, *Trop. Anim. Health Prod.*, 44, 1089–1095, doi:10.1007/s11250-011-0044-6, 2011.
- Ajayi, O. O., Adeleke, M. A., Sanni, M. T., Yakubu, A., Peters, S. O., Imumorin, I. G., Ozoje, M. O., Ikeobi, C. O., and Adebambo, O. A.: Application of principal component and discriminant analyses to morpho-structural indices of indigenous and exotic chickens raised under intensive management system, *Trop. Anim. Health Prod.*, 44, 1247–1254, doi:10.1007/s11250-011-0065-1, 2012.
- Assan, N.: Bio prediction of body weight and carcass parameters from morphometric measurements in livestock and poultry, *Sci. J. Review*, 6, 140–150, 2013.
- Buckland, R. B., Wilcox, F. H., and Shaffner, C. S.: Influence of homozygosity for rose comb on fumarase, aconitase, isocitric dehydrogenase and malic dehydrogenase activity in spermatozoa of the domestic fowl (*Gallus domesticus*), *J. Reprod. Fertil.*, 18, 89–95, doi:10.1530/jrf.0.0180089, 1969.
- Bulgarella, M., Wilson, R. E., Kopuchian, C., Valqui, T. H., and McCracken, K. G.: Elevational variation in body size of crested ducks (*Lophonetta specularioides*) from the central high Andes, Mendoza, and Patagonia, *Ornitol. Neotrop.*, 18, 587–602, 2007.
- Crawford, R. D. (Ed.): Origin and history of poultry species, in: *Poultry breeding and genetics*, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 1990.
- Desta, T. T., Dessie, T., Bettridge, J., Lynch, S. E., Melese, K., Collins, M., Christley, R. M., Wigley, P., Kaiser, P., Terfa, Z., Mwacharo J. M., and Hanotte O.: Signature of artificial selection and ecological landscape on morphological structures of Ethiopian village chickens, *Animal Genetic Resources*, 52, 17–29, doi:10.1017/S2078633613000064, 2013.
- Egahi, J. O., Dim, N. I., Momoh, O. M., and Gwaza, D. S.: Variations in qualitative traits in the Nigerian local chicken, *Int. J. Poult. Sci.*, 9, 978–979, 2010.
- Egena, S. S. A., Ijaiya, A. T., and Kolawole, R.: An assessment of the relationship between body weight and body measurements of indigenous Nigeria chickens (*Gallus gallus domesticus*) using path coefficient analysis, *Livest. Res. Rural Dev.*, 26, available at: <http://www.lrrd.org/lrrd26/3/egen26051.htm> (last access: April 2015), 2014.
- El-Safty, S. A.: Determination of some quantitative and qualitative traits in Libyan native fowls, *Egypt. Poult. Sci.*, 32, 247–258, 2012.
- Eskindir A., Kefelegn, K., Tadelle, D., and Banerjee, A. K.: Phenotypic characterization of indigenous chicken population in Ethiopia, *Int. J. Interdisc. Multidisc. Stud.*, 1, 24–32, 2013.
- Fajemilehin, S. O. K.: Frequencies of different phenotypes and body parameters of mature indigenous chicken in deciduous rainforest of Nigeria, *Niger. J. Anim. Prod.*, 38, 4–13, 2011.
- FAO: Phenotypic characterization of animal genetic resources, *FAO Animal Production and Health Guidelines*, 11, Rome, 2012.
- Faruque, S., Siddiquee, N. U., Afroz, M. A., and Islam, M. S.: Phenotypic characterization of native chicken reared under intensive management system, *J. Bangladesh. Agri. Univ.*, 8, 79–82, 2010.
- Fayeye, T. R., Ayorinde, K. L., Ojo, V., and Adesina, O. M.: Frequency and influence of some major genes on body weight and body size parameters of Nigerian local chickens, *Livest. Res. Rural Dev.*, 18, available at: <http://www.lrrd.org/lrrd18/3/faye18037.htm> (last access: April 2015), 2006.
- Getu, A. and Birhan, M.: Chicken Production Systems, Performance and Associated Constraints in North Gondar Zone, Ethiopia, *British J. Poultry Sci.*, 3, 27–35, 2014.
- Guni, F. S., Katule, A. M., and Mwakilembe, P. A. A.: Characterization of local chickens in selected districts of the Southern Highlands of Tanzania: II. Production and Morphometric traits, *Livest. Res. Rural Dev.*, 25, available at: <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/guni25190.htm> (last access: April 2015), 2013.
- Haaren-Kiso, A., Horst, P., and Zarate, A. V.: Direct and indirect effects of the frizzle gene (F) on the productive adaptability of laying hens, *Animal Res. Dev.*, 42, 98–114, 1995.
- Halbouch, M., Dahloum, L., Mouats, A., Didi, M., Benabdelmoumene, D., and Dahmouni, Z.: Sélection d'une souche avicole locale thermotolérante en Algérie, *Programme et résultats préliminaires*, *Eur. J. Sci. Res.*, 71, 569–580, 2012.
- Hassaballah, K., Zeuh, V., and Sembene, M.: Phenotypic diversity of local chickens (*Gallus domesticus*) in three ecological zones of Chad, *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.*, 1, 1–8, 2014.
- Hume, T.: Backyard chicken husbandry – Part 1: Companion Animal., 16, 43–46, doi:10.1111/j.2044-3862.2011.00042.x, 2011.
- Ikeobi, C. O. N., Ozoje, M. O., Adebambo, O. A., and Adenowo, J. A.: Frequencies of Feet Feathering and Comb Type Genes in the Nigerian Local Chicken, *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.*, 24, 147–150, 2001.
- Iqbal, S. and Pampori, Z. A.: Production potential and qualitative traits of indigenous chicken of Kashmir, *Livest. Res. Rural Dev.*, 20, available at: <http://www.lrrd.org/lrrd20/11/iqba20182.htm> (last access: April 2015), 2008.
- Jesuyon, O. M. A. and Salako, A. E.: Variability and predictability of productive and body traits of Fulani ecotype chicken, *Afr. J. Agric. Res.*, 8, 6178–6184, doi:10.5897/AJAR12.646, 2013.
- Kaiser, H. F.: An index of factorial simplicity, *Psychometrika*, 39, 31–36, 1974.
- Latshaw, J. D. and Bishop, B. L.: Estimating body weight and body composition of chickens by using non invasive measurements, *Poult. Sci.*, 80, 868–873, 2001.

- Lerner, I. M.: Shank length as a criterion of inherent size, *Poult. Sci.*, 16, 213–215, 1937.
- Liyanage, R. P., Dematawewa, C. M. B., and Silva, G. L. L. P.: Comparative study on morphological and morphometric features of village chicken in Sri Lanka, *Trop. Agric. Res.*, 26, 261–273, 2015.
- Mahammi, F. Z., Gaouar, S. B. S., Tabet-Aoul, N., Tixier-Boichard, M., and Saidi-Mehtar, N.: Caractéristiques morpho-biométriques et systèmes d'élevage des poules locales en Algérie occidentale (Oranie), *Cah. Agric.*, 23, 382–392, doi:10.1684/agr.2014.0722, 2014.
- Mahammi, F. Z., Gaouar, S. B. S., Laloë, D., Faugeras, R., Tabet-Aoul, N., Rognon, X., Tixier-Boichard, M., and Saidi-Mehtar, N.: A molecular analysis of the patterns of genetic diversity in local chickens from western Algeria in comparison with commercial lines and wild jungle fowls, *J. Anim. Breed. Genet.*, 133, 59–70, doi:10.1111/jbg.12151, 2016.
- Marascuilo, L. A.: Large-sample multiple comparisons, *Psychol. Bull.*, 65, 280–290, 1966.
- Mathur, P. K. and Horst, P.: Efficiency of warm stall tests for selection on tropical productivity in layers, *Proceedings of the World's Poultry Congress*, Nagoya, Japan, 4–9 September 1988, 383–385, 1988.
- Mbap, S. T.: The performance of local, exotic and hybrid cattle at Ibadan and Vom in Nigeria, PhD thesis, University of Ibadan, Ibadan, 1985.
- Mendes, M.: Multiple regression models based on principal component scores to predict slaughter weight of broiler, *Arch. Geflügelk.*, 73, 139–144, 2009.
- Mendes, M.: Multivariate multiple regression analysis based on principal component scores to study relationship between some pre- and post-slaughter traits of broilers, *J. Agri. Sci (Tarim Bilimleri Dergisi.)*, 17, 77–83, 2011.
- Moula, N., Antoine-Moussiaux, N., Farnir, F., Detilleux, J., and Leroy P.: Réhabilitation socio-économique d'une poule locale en voie d'extinction: la poule Kabyle (Thayazit lekval), *Annales de Médecine Vétérinaire*, 153, 178–186, 2009.
- Moula, N., Farnir, F., Salhi, A., Igouera, M., Leroy, P., and Antoine-Moussiaux, N.: Backyard poultry in Kabylie (Algeria): from an indigenous chicken to a local poultry breed?, *Animal Genetic Resources*, 50, 87–96, doi:10.1017/S207863361200001X, 2012.
- Moula, N., Luc, D. D., Dang, P. K., Farnir, F., Ton, V. D., Binh, D. V., Leroy, P., and Antoine-Moussiaux, N.: The RI chicken breed and livelihoods in North Vietnam: Characterization and prospects, *J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop.*, 112, 57–69, 2011.
- Momoh, O. M. and Kershima, D. E.: Linear body measurements as predictors of body weight in Nigerian local chickens, *ASSET: An International Journal (Series A)*, 8, 206–212, 2008.
- Mtilleni, M. F. C., Maiwashe, A., Chimonyo, M., and Dzama, K.: Conservation and utilization of indigenous chicken genetic resources in Southern Africa, *World Poultry. Sci. J.*, 68, 727–747, 2012.
- Muchadeyi, F. C., Wollny, C. B. A., Eding, H., Weigend, S., Makuza, M., and Simianer, H.: Variation in village chicken production systems among agro-ecological zones of Zimbabwe, *Trop. Anim. Health Prod.*, 39, 453–461, doi:10.1007/s11250-007-9050-0, 2007.
- Navara, K. J., Anderson, E. M., and Edwards, M. L.: Comb size and colour relate to sperm quality: a test of the phenotype-linked fertility hypothesis, *J. Behavioural Ecology*, 23, 1036–1041, 2012.
- Nesheim, M. C., Austic, R. E., and Card, L. E.: *Poultry production*, Lea and Febiger, 12th Edn., Philadelphia, 58–92, 1979.
- Ogah, D. M.: Assessing size and conformation of the body of Nigerian indigenous turkey, *Slovak J. Anim. Sci.*, 44, 21–27, 2011.
- Osewa, G. A.: Inheritance of thermoregulatory frizzled feather and naked Neck, B. Agric, Thesis, Department of Animal Production, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria, 25–30, 2003.
- R Development Core Team.: R: A Language and Environment for Statistical, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>, 2011.
- Roxas, N. P., Villanueva, E. M., and Lambio, A. L.: Protein and isoenzyme polymorphisms in Philippine native chickens, *Philipp. J. Vet. Anim. Sci.*, 22, 43–58, 1996.
- Semakula, J., Lusembo, P., Kugonza, D. R., Mutetikka, D., Ssenyonjo J., and M. Mwesigwa.: Estimation of live body weight using zoometrical measurements for improved marketing of indigenous chicken in the Lake Victoria basin of Uganda, *Livest. Res. Rural Dev.*, 23, available at: <http://www.lrrd.org/lrrd23/8/sema23170.htm> (last access: December 2015), 2011.
- Shahin, K. A. and Hassan, H. S.: Sources of shared variability among body shape characters at marketing age in New Zealand White and Egyptian rabbit breeds, *Ann. Zootech.*, 49, 435–445, doi:10.1051/animres:2000134, 2000.
- Sharma, S.: *Applied multivariate techniques*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1996.
- Shoffner, R. N., Otis, J. S., and Garwood, V. A.: Association of dominant marker traits and metric traits in chickens, *Poult. Sci.*, 72, 1405–1410, 1993.
- Sola-Ojo, F. E., Toye, A. A., and Ayorinde, K. L.: Incidence and frequencies of adaptive genes in intensively raised Fulani ecotype chickens, *Afr. J. Gen. Agric.*, 7, 163–168, 2011.
- Sonaiya, E. B.: African network on Rural Poultry Development, *Proceedings ANRPD Workshop*, Addis Ababa, Ethiopia, Progress Report, 134–143, November 1989 to June 1995, 1997.
- Sørensen, P.: Chicken genetic resources used in smallholder production systems and opportunities for their development, *FAO Smallholder Poultry Production*, Paper No. 5, Rome, 2010.
- SPSS: Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc, 444 Michigan Avenue, Chicago, IL60611, 2001.
- Udeh, I. and Ogbu, C. I.: Principal component analysis of body measurements in three strains of broiler chicken, *Science World Journal*, 6, 11–14, 2011.
- Wright, D., Boije, H., Meadows, J. R., Bed'hom, B., Gourichon, D., Vieaud, A., Tixier-Boichard, M., Rubin, C. J., Imsland, F., Hallböök, F., and Andersson, L.: Copy number variation in intron 1 of SOX5 causes the Pea-comb phenotype in chickens, *PLoS Genet.*, 5, e1000512, doi:10.1371/journal.pgen.1000512, 2009.
- Yakubu, A.: Indigenous chicken flocks of Nasarawa state, Nigeria: Their characteristics, husbandry and productivity, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12, 69–76, 2010.
- Yakubu, A., Kuje, D., and Okpeku, M.: Principal components as measures of size and shape in Nigerian indigenous chickens, *Thai J. Agric. Sci.*, 42, 167–176, 2009.

Article 2.

**SELECTION D'UNE SOUCHE AVICOLE LOCALE
THERMOTOLERANTE EN ALGERIE. PROGRAMME
ET RESULTATS PRELIMINAIRES.**

***Selection of Domestic Thermotolerant Avian Strain in
Algeria. Program and Preliminary Results***

European Journal of Scientific Research
ISSN 1450-216X Vol.71 No.4 (2012), pp. 569-580

Sélection D'une Souche Avicole locale Thermotolérante en Algérie. Programme et Résultats Préliminaires

Selection of Domestic Thermotolerant Avian Strain in Algeria. Program and Preliminary Results

Miloud Halbouche

*Corresponding Author, Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée
Université de Mostaganem (UMAB), 10 Avenue Hocine Hamadou, 27000 Mostaganem*
E-mail: halbouche@univ-mosta.dz
Tel: +213-772039020; Fax: +213-45214544

Lahouari Dahloum

*Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Université de Mostaganem (UMAB)
10 Avenue Hocine Hamadou, 27000 Mostaganem*
E-mail: hdahloum@yahoo.fr
Tel: +213-790614869; Fax: +213-45214544

Aziz Mouats

*Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Université de Mostaganem (UMAB)
10 Avenue Hocine Hamadou, 27000 Mostaganem*
E-mail: azizmouats@gmail.com
Tel: +213-556148221; Fax: +213-45214544

Mabrouk Didi

*Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Université de Mostaganem (UMAB)
10 Avenue Hocine Hamadou, 27000 Mostaganem*
E-mail: didi@univ-mosta.dz
Tel: +213-795174179; Fax: +213-45214544

Djilali Benabdelmoumene

*Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Université de Mostaganem (UMAB)
10 Avenue Hocine Hamadou, 27000 Mostaganem*
E-mail: benabdelmoumenedjilali@hotmail.com
Tel: +213-774749374; Fax: +213-45214544

Zineb Dahmouni

*Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Université de Mostaganem (UMAB)
10 Avenue Hocine Hamadou, 27000 Mostaganem*
E-mail: dahmouni@univ-mosta.dz
Tel: +213-791963950; Fax: +213-45214544

Résumé

Un programme de sélection a été réalisé pour produire une souche avicole locale thermotolérante. 2 caractères liés à des gènes majeurs récessifs codant le plumage (Na et F), ainsi qu'un caractère récessif lié à la couleur du plumage (I₀) ont été utilisés. Le programme a été conçu en 3 étapes de sélection (sélection des homozygotes, des doubles homozygotes et des triples homozygotes). Les individus issus de ce programme de sélection ont été mesurés quant-à leurs paramètres morpho-pondéraux et les caractéristiques de leurs œufs. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus au cours d'un travail d'inventaire de population avicole locale. A l'âge adulte, le poids moyen des poules locales a été de 1,358 Kg, celui des coqs de 1,926 Kg. Un dimorphisme sexuel très net a été observé sur les autres paramètres pondéraux et de conformation mesurés. Les œufs de poules locales ont été caractérisés pour leur poids et leurs dimensions, et comparés aux œufs de consommation des pondeuses sélectionnées. Les œufs locaux contiennent plus de vitellus (+3 g, P<0,01) et moins d'albumen (-4,4 g, P<0,01) pour un poids total semblable. Leur conformation (longueur, largeur, index de forme) a été également différente (P<0,01) de celle des œufs de consommation.

Mots-clé: Sélection génétique, Gènes majeurs, Thermotolérance, *Gallus gallus domesticus*, Phénotypes locaux, Œuf.

Abstract

A selection program was carried out to produce a local poultry thermotolerant strain. Two characters related to recessive genes encoding the plumage (Na and F) and a recessive trait associated with the color of the feathers (I₀) were used. The program was designed in three stages of selection (homozygous, double homozygous and triple homozygous). Animals from the selection program were measured for their morphological and weight parameters and characteristics of their eggs. The results were compared with those obtained during an inventory of local poultry population. At adult age, the average weight of local hens was 1.358 Kg, the cocks weighed 1.926 Kg. A very clear sexual dimorphism was observed in the other weight and conformation parameters measured. The local eggs were characterized for their weight and size and compared with eggs from selected hens. Local eggs contain more yolk (3 g, P <0.01) and less albumen (-4.4 g, P <0.01) for a similar total weight. Conformation (length, width, form-index) was also different (P <0.01) from that of selected eggs.

Keywords: Selection program, major genes, thermotolerance, *Gallus gallus domesticus*, local phenotypes, egg.

1. Introduction

A cause de ses caractéristiques physiologiques, l'espèce *Gallus gallus domesticus* est particulièrement sensible aux variations de températures et aux coups de chaleur. Cette sensibilité a été accentuée encore plus chez les souches sélectionnées commerciales et occasionne des pertes importantes, des cessations d'activité ou des manques à gagner durant la période chaude de l'année (Temim et al 2009, Collin et al 2005a, 2005b). Chez cette espèce, il est cependant possible d'améliorer sa thermotolérance par l'utilisation de gènes majeurs récessifs connus pour réduire la répartition et la densité du plumage

(Merat 1990a, 1990b). Il s'agit du gène Na codant le caractère cou nu, et du gène F codant le plumage frisé. Il a été démontré que les individus manifestant ces caractères sont plus résistants aux hautes températures, plus performants (Bordas et al 1980, Monnet et al 1980) et supportent mieux les coups de chaleur fréquents de la période estivale. En vue de produire une souche locale thermotolérante destinée aux élevages fermiers, un travail d'inventaire et de mesure des phénotypes avicoles locaux a été effectué dans les régions de Mostaganem et de Chlef en Algérie. Un programme de sélection génétique a été mis en place pour fixer ces deux caractères chez une souche double homozygote « cou nu, plumage frisé ». Les caractéristiques corporelles de ces animaux, ainsi que celles de leurs œufs, ont été mesurées et comparées aux poules locales ne portant pas ces caractères.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Inventaire des Phénotypes

Les zones de Mostaganem, de Sidi Ali et de Oued Rhieu, dans le Nord-Ouest algérien, ont été choisies pour effectuer une enquête phénotype des populations locales de poules menées en élevages familiaux. Cette enquête devait nous permettre de rassembler l'information préliminaire pour organiser le programme de sélection génétique. Les poules et coqs adultes d'élevages familiaux ont été pesés, mesurés et caractérisés dans des fiches-phénotype. Les animaux ont été également photographiés pour faciliter la caractérisation phénotypique. Les œufs de poules locales ont été récoltés au cours de nos sorties, ils ont été pesés et mesurés en laboratoire pour leurs caractéristiques morpho-pondérales.

2.2. Programme de Sélection

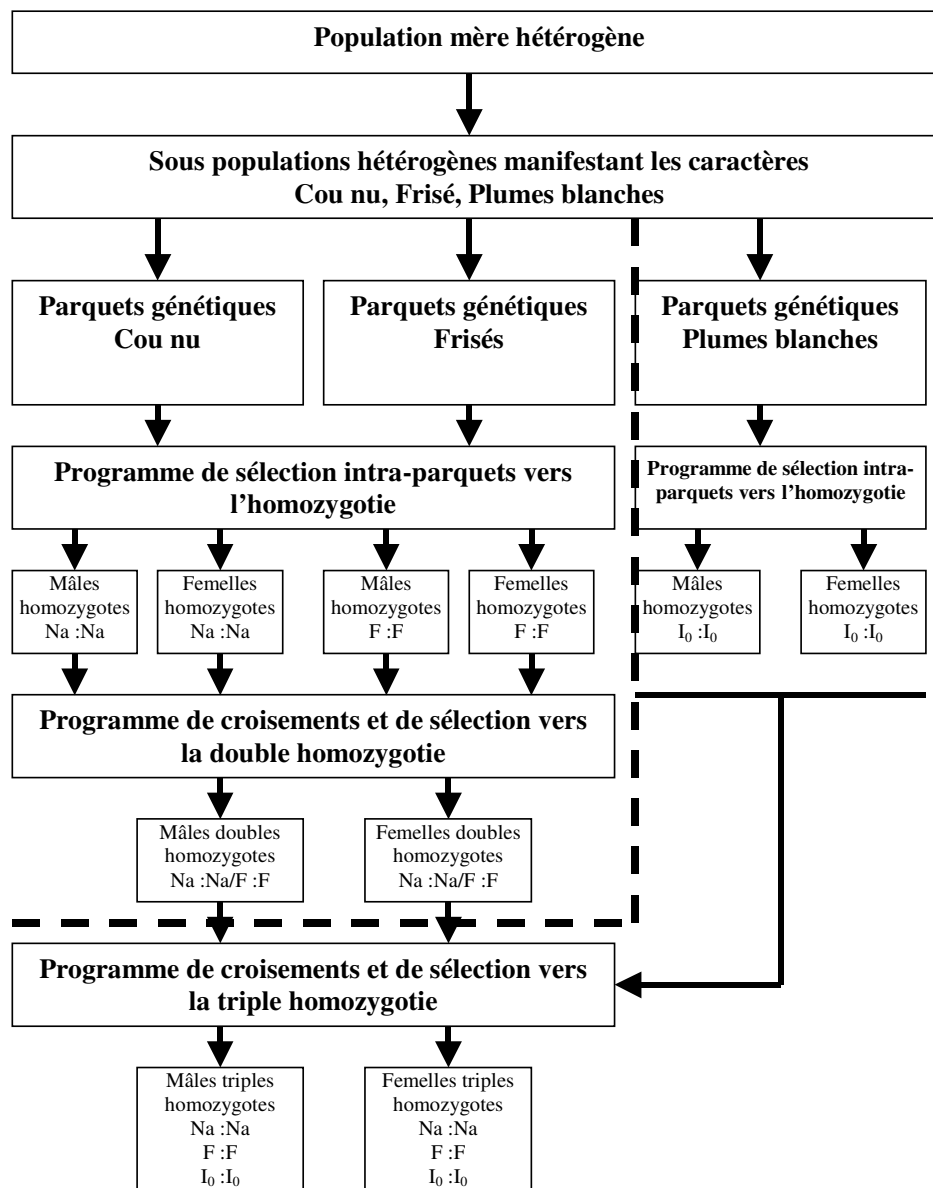
Les poules et coqs rencontrés portant les caractères « cou nu » et « frisé » ont été récoltés des élevages et menés en reproduction naturelle en ferme expérimentale. Leurs descendants ont été utilisés pour constituer le parquet phénotypique comprenant, soit des poules manifestant un seul caractère (cou nu, frisé), soit des poules manifestant les deux caractères simultanément (cou nu : frisé). Une fois adultes, ces animaux ont été pesés et leurs caractères morphologiques mesurés, leurs oeufs ont été récoltés, pesés et mesurés pour les paramètres morpho-pondéraux.

Le schéma global de sélection génétique (Fig. 1) avait pour objectif de produire une souche locale triple homozygote pure contenant le génotype récessif « Na:F:I₀ ». Cette souche, une fois produite, sera de phénotype « cou nu, plumes frisées et blanches » et constituera la génération grand-parentale de poules et coqs destinés soit à la reproduction, soit encore à la ponte, soit à la production de viande. Ces orientations diverses dépendront des performances qu'on aura obtenu en utilisant ces souches en croisement avec d'autres souches de ponte ou de viande.

La méthodologie développée a consisté à procéder par étapes de sélection :

1. Sélection vers l'homozygotie : à partir de sous-populations génétiquement hétérogènes, manifestant les caractères cou nu, plumes frisées, plumes blanches, on procède aux croisements mendéliens (test-cross, back cross) pour obtenir les souches homozygotes pures « Na:Na », « F:F », « I₀:I₀ ».
2. Sélection vers la double homozygotie : à partir des génotypes homozygotes purs « Na:Na » et « F:F », effectuer les croisements d'interpénétration pour obtenir les individus doubles homozygotes mâles et femelles de structure « Na:Na/F:F ». Ces individus seront de phénotype « cou nu, frisé ».
3. Sélection vers la triple homozygotie : à partir des individus doubles homozygotes et des individus homozygotes « I₀:I₀ », on procède aux croisements de pénétration du gène I₀ pour obtenir des individus de structures génétique « Na:Na/F:F/ I₀:I₀ », qui seront de phénotype « cou nu, frisé, blanc ».

Figure 1: Diagramme général du programme de sélection pour la création de souches homozygotes résistantes à la chaleur chez la volaille locale.



Ces 3 produits de sélection, homozygotes, doubles homozygotes et triples homozygotes peuvent être utilisés dans le cadre de programmes d'amélioration des élevages fermiers, mais aussi industriels, notamment pour introduire le facteur génétique de thermotolérance.

En plus du volet strictement génétique, le programme de sélection contient deux autres volets liés à l'étude de la physiologie de thermorégulation et d'adaptation à la chaleur, et à l'étude de la qualité des produits (viande, œufs) issus de ce programme.

Le volet physiologie de thermorégulation et d'adaptation à la chaleur est mené à travers la mise en place d'expérimentations testant la capacité de résistance de ces souches à des températures élevées proches de celles estivales, et à des coups de chaleur simulant les périodes de canicule.

Le volet qualité des produits consiste à caractériser la composition de carcasse, la composition physico-chimique de la viande et des œufs, leur valeur nutritionnelle et organoleptique, et à estimer l'apport d'origine génétique dans l'amélioration de la qualité.

2.3. Mesures et Traitements Statistiques

Les paramètres mesurés sur oiseaux vivants ont été le poids vif, l'envergure, la longueur de l'aile droite, la longueur du tarse droit et la longueur de la 3^{ème} rémige de l'aile droite après son arrachage. Sur les œufs ont été mesurés le poids total, le poids de l'albumen, le poids du vitellus et le poids de la coquille. La longueur de l'œuf et sa largeur ont été également relevés. Les paramètres morphologiques ont été comparés d'une part pour déterminer le dimorphisme sexuel, d'autre part pour étudier l'effet des caractères récessifs Na et F (poules non porteuses, poules porteuses). Les paramètres des œufs ont été comparés avec ceux d'œufs commerciaux achetés en divers lieux et à différents moments, et avec les œufs issus de poules (Na, F et Na:F) mises en reproduction dans le cadre du programme. Les données obtenues ont été traitées, pour la comparaison des moyennes par le test de Student, et pour la comparaison des variances par le test de Fisher. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés pour mesurer les relations entre paramètres.

3. Résultats

3.1. Inventaire des Phénotypes

L'enquête menée dans les zones de Mostaganem, de Sidi Ali et de Oued Rhioù révèle l'existence de 19 phénotypes avicoles différents (Tabl. 1). Ces phénotypes sont désignés par la population soit selon la couleur du plumage, soit selon certaines caractéristiques morphologiques particulières. La diversité des phénotypes liés à la couleur du plumage provient du déterminisme polygénique complexe du caractère chez cette espèce. On compte, dans le génôme de l'espèce, au moins 18 loci qui interviennent dans la détermination de la couleur du plumage, et quelque 46 allèles connus qui s'expriment en dominance, en codominance, en récessivité ou encore en récessivité dominante. Par contre, les caractéristiques morphologiques sont le plus souvent monogéniques, impliquant des allèles récessifs, manifestant soit la codominance, soit la récessivité, plus ou moins rares dans les populations.

Ces appellations attribuées aux phénotypes sont vernaculaires, elles obéissent aux subtilités de langages, le plus souvent à caractère local. Le même phénotype peut être désigné différemment selon les régions. Dans le cadre de cette enquête, il reste à effectuer un travail « taxonomique » important dans le but d'harmoniser les appellations. Certains phénotypes peuvent être rencontrés dans toutes les zones d'étude, d'autres sont localisés dans certaines régions seulement, montrant ainsi une inégalité de répartition qui serait liée, selon notre étude, aux spécificités écologiques des zones étudiées (différences plaine vs. montagne, urbain vs. rural) et à la destination des produits de l'aviculture (autoconsommation vs. rente), selon une logique présentée dans la figure 2.

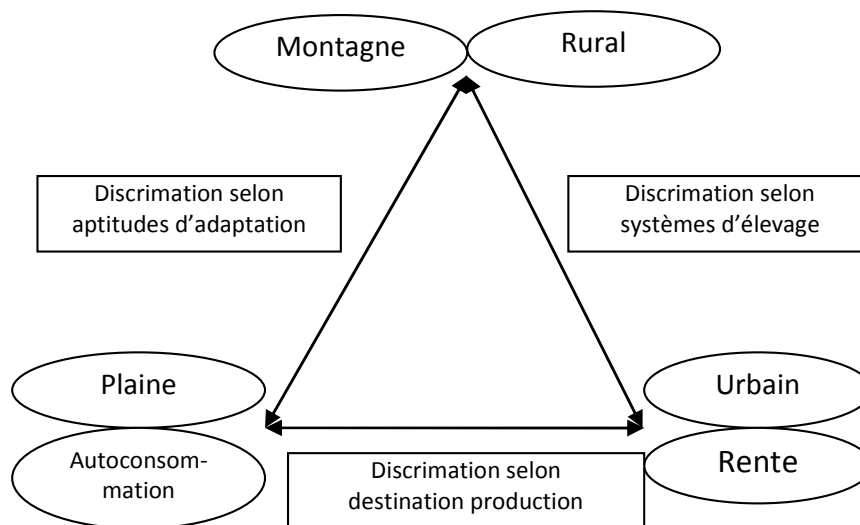
Tableau 1: Inventaire des phénotypes avicoles rencontrés dans les zones d'étude

Couleur du plumage	Caractères morphologiques
Djadja El Kehla (poule noire) ou Hadjrat El Oued	Mezlout (Cou nu)
Djadja El baidha (poule blanche) ou Herrouria	M'chouek (Plumes frisée)
M'barbcha (poule tachetée) ou M'zerkcha	H'mamia (poule naine)
Nouar El Foul (tachetée noir et blanc)	M'serouel (tarse emplumé)
Ragta (herminée)	El Kaoubia (poule huppée)
El Djelbania	M'chemel (ramassé, corps court)
T'chinia (Orangée)	
M'zeouaka (Bariolée)	
Ragba El Hamra (Cou rouge)	
Kahuia (Marron dominant)	
El Hamra (poule rouge)	
M'Deheb (poule dorée)	
R'madia (poule cendrée)	

Tableau 1: Inventaire des phénotypes avicoles rencontrés dans les zones d'étude - continued

Structures génétiques impliquées	Structures génétiques impliquées
Loci : E, C (Synthèse du pigment) Loci : I, S, Lav, Ig, Bl (Organisation subcellulaire du pigment, phénotypes de dilution) Loci : S, B, Choc (liés au sexe) Loci : Co, Db, Pg, Ml, Cha, Mh, Di, Cb, Mo (autres effets d'interaction)	Na, F, Dw, Te, autres

Figure 2: Facteurs de répartition spacio-écologiques des phénotypes avicoles locaux



3.2. Caractérisation Morphologique des Populations Avicoles Locales

Chez les populations avicoles locales, le dimorphisme sexuel est très prononcé non seulement sur le poids vif (+568 g en faveur du coq, $P<0,01$), mais aussi sur les autres paramètres de conformation mesurés (Tabl. 2). Ainsi, les coqs ont été supérieurs en ce qui concerne l'envergure (+8,1 cm) et la longueur des ailes (+3,9 cm). Pour ces 3 paramètres, l'hétérogénéité intra-sexe n'a cependant pas été significativement différente. Le dimorphisme persiste ($P<0,01$) pour la longueur du tarse (+1,8 cm) et la longueur de 3^{ème} rémige (+0,9 cm), avec une variabilité plus importante ($P<0,01$) chez les coqs, comparée à la variabilité enregistrée chez les poules.

Les poules portant les caractères Na, F ont accusé une légère perte de poids (-54 g), comparées aux poules locales, sans que cette différence soit significative, mais elles ont été beaucoup moins hétérogènes ($P<0,01$) sur ce paramètre. Elles n'ont pas enregistré de différences significatives sur les paramètres d'envergure et de longueur des ailes. Par contre la longueur du tarse a été nettement plus faible (-3,8 cm, $P<0,01$), indiquant un animal plus court sur pattes. De même, leur 3^{ème} rémige a été plus courte (-2,2 cm, $P<0,01$) indiquant un effet de ces gènes, non seulement sur la répartition des plumes et leur densité, mais aussi sur leur longueur.

Tableau 2: Paramètres de poids vif et de mensurations des poules et coqs locaux, et des poules portant les caractères Na, F.

	Population		T	F	Poules (Na, F)	T	F
	Poules	Coqs					
n	122	26			17		
Poids vif (g)σ	1358b	1926a	7,71**	1,50 ^{NS}	1304b	0,68 ^{NS}	4,49**

Tableau 2: Paramètres de poids vif et de mensurations des poules et coqs locaux, et des poules portant les caractères Na, F. - continued

n	325 62	398 26			153 17		
Envergure (cm)	63,5b 5,4	71,6a 4,6	6,72**	1,34 ^{NS}	63,8b 4,6	0,20 ^{NS}	1,38 ^{NS}
Long aile (cm)	29,6b 2,6	33,5a 2,9	6,28**	1,27 ^{NS}	29,7b 2,5	0,12 ^{NS}	1,07 ^{NS}
Long tarse (cm)	12,5b 1,0	14,3a 2,0	5,89**	4,43**	8,7c 2,6	9,34**	7,33**
Long rémige (cm)	18,0b 1,2	19,2a 2,1	3,12**	3,14**	15,8c 2,4	5,24**	3,88**

^{NS}P>0,05, **P<0,01, a, b, c : moyennes différentes au test de Student

L'examen des corrélations entre paramètres (Tabl. 3) montre paradoxalement qu'il n'y a pas de relation entre le poids vif de l'animal et les autres paramètres morphologiques de mensuration mesurés, aussi bien chez les poules normales que chez les poules portant Na et F. Les paramètres de mensurations du corps (envergure, longueur d'aile, longueur de tarse) sont significativement liés entre eux, aussi bien chez les poules normales que chez les poules portant Na et F. La longueur de rémige, indicateur d'emplumement, n'a pas été reliée aux autres paramètres de mensuration chez les poules normales, par contre elle a été significativement liée à ces mêmes paramètres chez les poules portant Na et F.

Tableau 3: Corrélations entre paramètres morpho-pondéraux mesurés chez les poules normales et chez les poules portant Na, F.

	Poids vif	Envergure	Long aile	Long tarse
Poules normales (n=62)				
Envergure	0,20			
Long aile	0,18	0,98**		
Long tarse	-0,18	0,59**	0,58**	
Long rémige	0,12	0,21	0,25	-0,13
Poules Na, F (n=17)				
Envergure	0,00			
long aile	0,21	0,72**		
long tarse	0,03	0,64**	0,56*	
Long rémige	0,09	0,75*	0,56*	0,65**

*P<0,05 ; **P<0,01

3.3. Caractérisation des œufs de Poules Locales

Alors que le poids total de l'œuf local n'est pas différent de celui de l'œuf de consommation issu de poules pondeuses sélectionnées, sa composition interne a été nettement différente (Tabl. 4). L'œuf local contient moins d'albumen (-4,4 g, P<0,01) et plus de vitellus (+3 g, P<0,01). Le poids de la coquille n'a pas différé significativement. De même, la morphologie de l'œuf local a été significativement différente de celle de l'œuf de consommation. L'œuf local a été plus long (+0,2 cm, P<0,01) et moins large (-0,2 cm, P<0,01) que l'œuf de consommation. Ceci est traduit par un index de forme différent (P<0,01) qui passe de 1,28 à 1,36.

Tableau 4: Paramètres de poids et de mensurations des œufs issus de poules locales, de poules sélectionnées et de poules portant les caractères Na, F.

	Oeufs		T	F	Oeufs (Na, F)	T	F
	Locaux	Sélect.					
N	270	200			124		
Poids total (g) σ	53,4a 5,8	54,6a 7,9	1,85 ^{NS}	1,85**	51,9b 4,9	2,60*	1,41*
Poids albumen (g)	29,1b 4,3	33,5a 4,9	10,33**	1,30*	26,2c 4,1	6,37**	1,08 ^{NS}
Poids vitellus (g)	17,0b 2,4	14,0c 3,1	11,69**	1,61**	18,2a 2,2	4,57**	1,23 ^{NS}
Poids coquille (g)	6,5 0,8	6,4 1,0	1,64 ^{NS}	1,37**	6,7 0,9	1,32 ^{NS}	1,24 ^{NS}
Longueur (cm)	5,6a 0,3	5,4b 0,3	6,95**	1,05 ^{NS}	5,6a 0,2	1,37 ^{NS}	2,03**
Largeur (cm)	4,1b 0,16	4,3a 0,22	6,52**	1,84**	4,2b 0,14	1,97 ^{NS}	1,25 ^{NS}
Vitellus/albumen	0,59 0,12	0,42 0,09	17,27**	1,72**	0,71 0,15	8,33**	1,61**
Index de forme (Long/Larg)	1,36a 0,08	1,28c 0,05	13,01**	1,98**	1,34b 0,06	2,63**	1,64**

^{NS}P>0,05, *P<0,05, **P<0,01, a, b, c : moyennes différentes au test de Student

Des effets liés aux gènes Na et F sur la composition de l'œuf ont été mis en évidence dans notre travail. Les œufs produits par les poules portant Na et F ont été significativement moins lourds (-1,5 g, P<0,05) que les œufs de poules locales normales. La composition interne de l'œuf a également varié. Ils contiennent quantitativement moins d'albumen (-2,9 g, P<0,01) et plus de vitellus (+1,2 g, P<0,01), tandis que le poids de la coquille n'a pas varié. Globalement la morphologie de ces œufs n'a pas été différente de ceux de poule locale normale, la différence observée dans l'index de forme provient essentiellement d'une légère tendance de ces œufs à être plus larges (+0,1 cm).

Les paramètres de poids mesurés sur l'œuf de poules normales ont été dans l'ensemble très fortement reliés (P<0,01), mais avec une intensité variable. Ainsi, la valeur du coefficient de corrélation varie de 0,86 (poids total : albumen), à 0,16 (albumen : vitellus). De même, la relation entre longueur et largeur de l'œuf paraît peu intense (r=0,30), même si elle a été hautement significative. Ces mêmes appréciations sont valables en ce qui concerne les paramètres mesurés sur œufs de poules portant Na et F. De plus, pour ces œufs, les coefficients de corrélation ont été plus faibles, comparés à ceux obtenus chez les œufs de poules normales.

Tableau 5: Corrélations entre paramètres morpho-pondéraux de l'œuf mesurés chez les poules normales et chez les poules portant Na, F.

	Poids total	Albumen	Vitellus	Coquille	Longueur
Poules normales (n=270)					
Albumen	0,86**				
Vitellus	0,58**	0,16*			
Coquille	0,67**	0,50**	0,39**		
Longueur	0,54**	0,48**	0,37**	0,31**	
Largeur	0,83**	0,70**	0,50**	0,54**	0,30**
Poules Na, F (n=124)					
Albumen	0,80**				
Vitellus	0,36**	-0,14			
Coquille	0,54**	0,27**	0,39**		
Longueur	0,48**	0,24**	0,35**	0,37**	
Largeur	0,68**	0,45**	0,44**	0,42**	0,20*

*P<0,05 ; **P<0,01

4. Discussion

4.1. Programme de Sélection

Le programme de sélection qui est mis en oeuvre devrait nous permettre, dans son volet génétique, d'obtenir trois parquets homozygotes « Na:Na », « F:F », « I₀:I₀ », 1 parquet double homozygote « Na:Na/F:F » et 1 parquet triple homozygote « Na:Na/F:F/I₀:I₀ ». La méthodologie développée est essentiellement mendélienne, basée sur les croisements de test-cross, de back-cross, de croisements réciproques et de croisements de pénétration, avec sélection vers la récessivité. Les produits obtenus seront conservés et constitueront les générations grands-parentales à partir desquelles il deviendra possible d'organiser des croisements d'amélioration avec d'autres souches, y compris industrielles, pour introduire ces gènes de thermorégulation.

Les autres volets du programme vont consister d'une part à suivre chez ces souches homozygotes locales, les particularités physiologiques, les performances et les comportements liés à la chaleur, et de mesurer d'autre part la qualité des produits (viande et œufs) issus de ces expérimentations. Dans tous les cas, il s'agira de déterminer le gain génétique obtenu chez ces souches et chez les produits de leurs croisements.

L'intérêt de ce programme de sélection, outre le fait qu'il répond à une préoccupation de valorisation de la ressource génétique locale, réside aussi dans sa faisabilité, s'agissant de travailler sur des caractères monogéniques qualitatifs facilement maîtrisables, ayant un impact économique certain pour les pays chauds (Larivière et Leroy 2008, Merat 1990b).

4.2. Inventaire des Phénotypes

La diversité de la couleur du plumage chez les populations avicoles locales est compréhensible lorsqu'on considère le nombre de loci et d'allèles qui interviennent dans sa détermination, et la complexité des interactions génétiques du système (Gourichon et al 2009). Ce mécanisme de détermination de la couleur du plumage obéit à l'action et à l'interaction de gènes « fondamentaux » synthétiseurs de pigments (E, C), de gènes qui contrôlent l'organisation subcellulaire des pigments et les phénotypes de dilution, et de gènes qui contrôlent le dessin du plumage. Babilé (2006) dresse un tableau, d'ailleurs non exhaustif, des principales mutations à l'origine de cette diversité du plumage, mais aussi d'autres caractères d'intérêt dans la sélection de souches avicoles locales (Tabl. 6). La standardisation du blanc, dans notre programme de sélection, devrait permettre l'utilisation de ses produits dans l'amélioration des souches industrielles, sans modifier la couleur du plumage.

Tableau 6: Principaux gènes de coloration ou à effet morphologique chez la poule

Allèles		Autosomal (A) Lié au sexe (LS)	Appellation du mutant et dominance	Effet
Sauvage	mutant			
Coloration du plumage				
C+	c	A	Blanc (récessif)	Supprime la pigmentation noire et rouge (mélanine)
i+	I	A	Blanc (dominant)	
s+	S	LS	Argenté (dominant)	Supprime la pigmentation noire seule
	S ^{al}	LS	Albinos (récessif)	Supprime la pigmentation rouge seule
e+	E	A	Extension du noir (dominant)	Supprime toute coloration, pupille comprise
	E ^{wh} , ...	A	Autres allèles, avec divers degrés de dominance	
b+	B	LS	Barrure (dominant)	Plumage en majorité ou entièrement noir
Coloration de la peau				
w+	W	A	Pattes et peau blanches (dominant)	Supprime le pigment jaune (xanthophylles)

Tableau 6: Principaux gènes de coloration ou à effet morphologique chez la poule - continued

Forme de la crête				
r+	R	A	Crête en rose (dominant)	Crête aplatie (type Wyandotte)
p+	P	A	Crête en pois (dominant)	Crête petite avec bourrelet (type Cornish)
Précocité d'emplumement				
k+	K	LS	Emplumement lent (dominant)	Pousse tardive des rémiges et retard d'emplumement
Extension et structure du plumage				
na+	Na	A	Cou nu (dominant)	Plumage restreint, notamment dans la région du cou
f+	F	A	Frisé (dominant)	Plumes recourbées
Couleur de la coquille				
o+	O	A	Oeuf bleu (dominant)	Présence d'un pigment bleu (biliverdine) dans la coquille

Source : Babilé 2006

En comparant les phénotypes rencontrés dans nos régions, il est très facile de constater qu'ils descendent de la lignée « Bankiva » décrite comme étant une lignée de type ponte, légère à mi-lourde, élégante, agile et très active, oreillons et coquille de l'œuf de couleur blanche, ponte moyenne à très bonne (Aviforum 1999). Bessadok et al (2003) indiquent que la migration de l'espèce *Gallus gallus* de l'Asie, son territoire d'origine, vers les pays du bassin méditerranéen, s'est déroulée au VI^{ème} siècle avant J.C. Les marchands sumériens ont importé les volailles de la vallée de l'Indus vers le golfe Persique et le golfe d'Oman. Par la suite, les Phéniciens ont dispersé la poule dans le bassin méditerranéen et les Carthaginois prirent le relais pour commercialiser les volailles en Italie, en Espagne, au Portugal et jusqu'en Grande-Bretagne.

La diversité génétique des populations avicoles locales a été également mise en évidence en Kabylie par Moula et al (2009). Ces derniers recensent 18 phénotypes distingués par la couleur du plumage ou sa répartition. Plus généralement, la diversité phénotypique chez les populations avicoles locales est retrouvée dans tous les pays (Sonaiya et Swan 2004, FAO 2008), notamment ceux du Sud, mais des risques réels d'érosion, voire d'extinction des races, existent sous la pression des souches commerciales (Larivière et Leroy 2008). La nécessité de mise en place de programmes de conservation et de valorisation est fortement recommandée.

4.3. Caractères Morpho-Pondéraux des Animaux et des Oeufs

Dans notre travail, la caractérisation morpho-pondérale a montré un dimorphisme sexuel prononcé, naturel, chez les populations avicoles locales. Le poids des animaux adultes, assez faible, témoigne du fait que l'aviculture familiale est pratiquée surtout pour obtenir des œufs. Ainsi, les coqs et poules en divagation ne sont pas engraisés pour leur viande. Nos résultats sont en accord avec ceux de Moula et al (2009), Bessadok et al (2003), qui rapportent des poids vifs compris entre 1,100 et 1,300 Kg pour les poules adultes, et entre 1,400 et 1,650 Kg pour les coqs. Dans les élevages familiaux du Cameroun, Fotsa (2009) rapporte également des valeurs semblables (1,150 à 1,260 Kg chez la poule, 1,350 à 1,650 chez le coq).

Si l'influence du gène Na sur la croissance et la conformation des poules est rapportée par quelques travaux, celle du gène F par contre a été très peu étudiée. Magothe et al (2010) qui comparent des poules indigènes Kényanes cou nu ou frisées avec celles normales, menées en élevage intensif, rapportent des courbes de croissance et des poids vifs adultes similaires. Deeb et Cahaner (2001) mettent en évidence la supériorité des poules portant Na, en ce qui concerne la croissance sous hautes températures. Mahrous (2008) montre également des performances de croissance supérieures chez les poules et coqs portant Na, F, ou encore Na :F, menées sous hautes températures. Pour l'essentiel, les

performances de croissance, de poids vif de ces animaux sont attribuées à la réduction du plumage et aux modifications de sa répartition.

Les œufs de poules locales ne sont pas différents en termes de poids total, comparés aux œufs de consommation issus de pondeuses sélectionnées, mais leur composition est différente. Ainsi, ils contiennent moins d'albumen et plus de vitellus. Leur morphologie a été également différente et leur index de forme plus élevé. Ces différences de composition traduisent certainement les spécificités du cycle d'ovogenèse chez la poule locale. En tout état de cause, beaucoup de facteurs, d'origine génétique, photopériodique et nutritionnelle, interviennent dans la formation de l'œuf chez la poule et expliquent les différences obtenues (Blum 1968, N'dri 2006). Chez les poules portant les caractères Na et F, l'œuf a été plus léger, par contre il contient encore plus de vitellus que celui des poules normales, et moins d'albumen. Ces caractères influencent donc nettement le poids et la composition de l'œuf. L'effet des génotypes contenant Na sur le poids des œufs et les performances de ponte a été rapporté par Merat (1990). Dans tous les cas, ce gène manifeste sa supériorité dans les essais menés sous hautes températures.

5. Conclusions

Le programme de sélection qui consiste à fixer, dans une souche triple homozygote locale, les principaux gènes majeurs responsables de la résistance à la chaleur (Na, F, I₀), répond de manière directe et opérationnelle à un impératif de développement et d'optimisation des élevages avicoles sous climats chauds, conformément aux suggestions et recommandations de la recherche. Il s'agira de rassembler, dans les élevages algériens notamment, l'ensemble du déterminisme génétique de lutte contre la chaleur et les coups de chaleur. Ceci permettra de réduire, de manière substantielle, les surcoûts, les pertes et les manques à gagner liés à l'activité avicole, qu'elle soit fermière ou industrielle.

L'inventaire phénotypique effectué sur les populations avicoles locales du Nord-Ouest algérien, outre le fait qu'il procure une information nécessaire à la connaissance de ces populations, a permis de souligner la grande diversité génétique et le potentiel de son développement. Il nous a permis également d'organiser notre programme de sélection conformément à l'information obtenue dans nos enquêtes. Les résultats préliminaires obtenus sont encourageants dans la mesure où ils démontrent l'avantage de ces gènes, non seulement sur la résistance à la chaleur, mais également leur contribution à l'amélioration des performances zootechniques, des performances de ponte et de la qualité des œufs.

Références

- [1] AVIFORUM, 1999. Sélection et performance des animaux hybrides. In *Publications Techniques pour l'Aviculture*, Doc. PDF, 12 pp.
- [2] Babilé R., 2006. La sélection avicole. INP-ENSAT, France, Doc. Powerpoint, 32 pp.
- [3] Bessadok A., Khochlef Imen et El Gazzah M., 2003. Etat des ressources génétiques de la population locale du poulet en Tunisie. *Tropicultura*, 21(4), 167-172.
- [4] Blum J.C., 1968. Mode d'action de l'isoriboflavine sur l'utilisation de la vitamine b2 par la poule pondeuse. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 8(1), 87-93.
- [5] Bordas A., Monnet L.E. et Merat P., 1980. Gène cou nu, performances de ponte et efficacité alimentaire selon la température chez la poule. *Ann. Génét. Sélec. anim.*, 12(4), 343-361.
- [6] Collin Anne, Picard M. and Yahav S., 2005a. The effect of duration of thermal manipulation during broiler chick embryogenesis on body weight and body temperature of post-hatched chicks. *Anim. Res.* 54, 105-111
- [7] Collin Anne, Shinder D., Mercierand F., Tessereau Sophie, Picard M. et Yahav S., 2005b. Les manipulations thermiques pendant l'embryogenèse affectent la température corporelle et la

- croissance du poussin. *6èmes Journées de la Recherche Avicole*, St Malo, 30 et 31 Mars 2005, 67-71.
- [8] Deeb N. and Cahaner A., 2001. Genotype-by-Environment Interaction with Broiler Genotypes Differing in Growth Rate. 1. The Effects of High Ambient Temperature and Naked-Neck Genotype on Lines Differing in Genetic Background. *Poultry Science*, 80, 695-702.
- [9] FAO, 2008. L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. In Rapport : *L'état de la biodiversité de l'agriculture dans le secteur de l'élevage*. FAO, Rome, 66-78.
- [10] Fotsa J.C., 2008. Caractérisation des populations de poules locales au Cameroun. Thèse PhD de l'Université de Dschang, Option génétique animale et systèmes de production, 301 pp.
- [11] Gourichon D., Bed'Hom B., Vieaud A., Coville J.L. et Tixier-Boichard M., 2009. Connaissances actuelles sur les gènes de coloration chez le poulet. *8èmes Journées sur la Recherche Avicole*, St-Malo, 25-26 Mars 2009, 609-613.
- [12] Larivière J. et Leroy P., 2008. Conservation et valorisation de la diversité des ressources génétiques du poulet en Europe : initiatives et perspectives. *Ann. Méd. Vét.*, 152, 203-220.
- [13] Magoth T.M., Muhuyi W.B. and Kahi A., 2010. Influence of major genes for crested-head, frizzle-feather and naked-neck on body weights and growth patterns of indigenous chickens reared intensively in Kenya. *Trop. Anim. Health Prod.*, 42, 173-183.
- [14] Mahrous M.Y., 2008. Effect of interaction between some major and marker genes on immune response and productive performance of chickens. PhD thesis in Agricultural science (poultry breeding), Department of Poultry Production, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, 175 pp.
- [15] Merat P., 1990a. Utilisation des gènes majeurs et des races locales. Suggestions pour l'aviculture des pays de la Méditerranée. CIHEAM, *Options Méditerranéennes*, Série A, N°7, 15-27.
- [16] Merat P., 1990b. Gènes majeurs chez la poule (*Gallus gallus*) : autres gènes que ceux affectant la taille. *INRA, Prod. Anim.*, 3(5), 355-368.
- [17] Monnet L.E., Bordas A. et Merat P., 1980. Gène Cou nu, poids corporel et paramètres anatomiques et physiologiques des poulettes et poules adultes selon la température. *Ann. Génét. Sélec. anim.*, 12(3), 241-254.
- [18] Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F., Detilleux J. et Leroy P., 2009. Rehabilitation socioéconomique d'une poule locale en voie d'extinction: la poule Kabyle (Thayazit lekvayel). *Ann. Méd. Vét.*, 153, 178-186.
- [19] N'dri Aya Lydie, 2006. Etude des interactions entre génotype et environnement chez le poulet de chair et la poule pondeuse. Thèse de Doctorat, INA Paris-Grignon, Département des sciences animales, 225 pp.
- [20] Sonaiya E.B. et Swan S.E.J., 2004. Production en aviculture familiale, un manuel technique. *FAO Production et santé animales*, Rome, 140 pp.
- [21] Temim Soraya, Bedrani L., Aïn Baziz Hacina, Ghaoui H., Kaddour R., Boudina H., Adjou K., Collin Anne et Tesseraud Sophie, 2009. Effet de l'acclimatation précoce sur les performances de croissance et la morphométrie intestinale des poulets de chair élevés en conditions estivales méditerranéennes. *European Journal of Scientific Research*, 38(1), 110-118.

ARTICLE 3.

EVALUATION DE LA QUALITE DES ŒUFS CHEZ DEUX PHENOTYPES DE POULES LOCALES : COU NU- FRISEES ET NORMALEMENT EMPLUMÉES. COMPARAISON AVEC LES ŒUFS DE SOUCHE COMMERCIALE

***Egg quality traits of two phenotypes of local chickens.
Comparison with eggs of commercial strain***

Revue agriculture 09 (2015) 10 – 18
~UFAS SETIF~



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE



Evaluation de la qualité des œufs chez deux phénotypes de poules locales : cou nu- frisées et normalement emplumées. Comparaison avec les œufs de souche commerciale
Egg quality traits of two phenotypes of local chickens. Comparison with eggs of commercial strain

DAHLOUM Lahouari^{*1}, HALBOUCHE Miloud¹, ARABI Abed²

⁽¹⁾Laboratoire de physiologie animale appliquée, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.

⁽²⁾Département de biologie, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.

* **Correspondance** : E-mail : hdahloum@yahoo.fr Tel: +213-790614869; Fax: +213-45214544

ARTICLE INFO

Reçu : 22 – 02 - 2015

Accepté : 02-04-2015

Mots clés :

Poule locale, Qualité de l'œuf, Cou nu, Frisé, Corrélations phénotypiques.

Key words:

Local chicken, egg quality, naked neck, frizzle, phenotypic correlations.

RÉSUMÉ

Cette étude a été menée pour évaluer la qualité des œufs, en termes de composition et de conformation de deux types de poules locales : Normalement emplumées (NORM) et Cou Nu-Frisées (NaF), et ceux de la souche commerciale Lohmann Tradition (LT). Au total, 300 œufs (100 œufs pour chaque groupe) ont été utilisés dans cette étude. Les œufs de poules LT ont eu un index de forme et un poids total supérieurs ($P < 0,05$) aux œufs de poules locales. Le poids de la coquille et celui de l'albumen ont été également plus importants ($P < 0,05$ et $P < 0,01$), par contre la quantité de jaune a été inférieure ($P < 0,01$). Lorsque les œufs de poules NaF sont comparés à ceux de poules NORM, il apparaît aussi des différences de poids total (+6,4g ; $P < 0,05$), de poids du jaune (+3,0g ; $P < 0,01$) et de ratio V:A (+3% ; $P < 0,01$). De plus, les œufs de poules NaF contiennent significativement ($P < 0,01$) plus de lipides que les deux autres groupes. Le génotype n'a pas eu un effet significatif ($P > 0,05$) sur l'indice Haugh. Une forte corrélation ($P < 0,001$) variant de 0,77 et 0,95 a été observée entre le poids de l'œuf et le poids de l'albumen. Les résultats obtenus sont encourageants dans la mesure où ils démontrent l'avantage des gènes Na et F en combinaison sur la qualité des œufs. Ces résultats suggèrent, dans l'optique éventuelle de l'utilisation de pondeuses cou-nu-frisées en climat chaud de mener des recherches ultérieures.

ABSTRACT

An experiment was carried out to evaluate the egg quality traits in two local chickens, normally feathered (NORM), naked neck-frizzled (NaF), and one commercial line, Lohmann Tradition (LT). A total of three hundred eggs comprising of one hundred eggs from each genotype were collected. The Lohmann strain had significantly heavier ($P < 0.05$) egg weight and higher shape index. Egg shell weight and albumen weight were also higher in this group ($P < 0.05$ and $P < 0.01$). The Na, F genes in combination state caused the production of better egg weight (+6,4g, $P < 0.05$), yolk weight (+3,0g; $P < 0.01$) and yolk to albumen ratio (+3%; $P < 0,01$) when compared to normal feathered counterpart. In addition, egg quality in term of fat highly favored NaF laying hens compared to others. Haugh unit score was not significantly influenced ($P > 0,05$) by genotype. There was strong correlation ($P < 0,001$) ranged from 0,77 to 0,95 between egg weight and albumen weight. The potential interest of

further studies is stressed, in view of possible use of the naked neck-frizzle layers for egg production in hot climates.

1. Introduction

L'aviculture contribue aujourd'hui de façon significative à la sécurité alimentaire. Selon les estimations de la FAO, la filière avicole a fourni en 2012, dans le monde, 103 millions de tonnes de viande et 66,4 millions de tonnes d'œufs de consommation. D'ici 2050, la demande alimentaire augmentera de 70 % pour nourrir la population mondiale (FAO, 2009). Il se trouve que depuis quelques années la donne alimentaire est en train de changer sous les effets irréversibles, actuels et futurs, du réchauffement climatique que connaît la planète (Halbouché, 2013). Devant les difficultés d'adaptation des races avicoles améliorées aux régions chaudes, la lenteur d'une éventuelle sélection, et en raison de la complexité du caractère tolérance thermique, l'utilisation de gènes particuliers peut apporter quelques solutions (Monnet, 1980). Depuis peu, on s'intéresse à cet aspect du problème. Ce sont principalement les gènes impliqués dans le déterminisme de l'emplumage, comme le gène Na (cou nu), qui se caractérise par l'absence totale ou partielle des plumes au niveau du cou et à certains endroits du corps avec une dominance incomplète et le gène F, à dominance incomplète, responsable, quant à lui, du plumage frisé.

L'effet des mutations Na et F pris séparément ou en combinaison sur les performances zootechniques chez le poulet a fait l'objet de plusieurs études (Monnet et al, 1980 ; Bordas et al, 1980; Mathur et Horst, 1992). En Algérie, à notre connaissance, exception faite pour quelques travaux (Halbouché et al., 2012), on manque de données publiées relatives aux performances du poulet de phénotype Cou nu et/ou plumage frisé. L'objet du présent travail est, par suite, de comparer les caractéristiques des œufs, en termes de poids, de conformation et de composition de poules de trois phénotypes, dont deux types locaux (Normalement emplumé et Cou nu - Frisé) et une souche de type industriel.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel animal, conditions expérimentales, paramètres enregistrés

L'étude a été réalisée au niveau de l'exploitation agricole de Mazagran de l'université de Mostaganem dans le cadre d'un programme pour la création d'une souche de poulet thermo-tolérant. Nous avons constitué 3 parquets phénotypiques composés de 10 poules locales à plumage marron normalement emplumées «NORM», 10 poules locales à plumage marron rassemblant les caractères cou nu et frisé «NaF» et 10 poules de souche Lohmann Tradition. Les poules locales (NORM et NaF) ont été élevées au sol dans le même bâtiment jusqu'à l'âge de 35 semaines. Quant aux pondeuses commerciales, elles ont été élevées dans un bâtiment séparé jusqu'à l'âge de 25 semaines. Les conditions d'élevage entre les poules locales et les pondeuses commerciales, pour des raisons de recherches antérieures, comportaient quelques différences que nous considérons mineurs.

Les trois groupes d'animaux ont été ensuite relogés pendant 5 semaines au sol dans un même bâtiment et séparés par une cloison grillagée. L'éclairage a été assuré par une ampoule de 100 watts supplémentant la lumière du jour. La température a été généralement au voisinage de 27 °C. L'eau et l'aliment commercial formulé pour la ponte ont été distribués « ad libitum » de façon identique pour les trois groupes.

Les œufs normaux ont été ramassés quotidiennement, nettoyés et analysés au laboratoire le jour même. Après numérotation, les œufs ont été pesés individuellement ($\pm 0,1g$). La longueur et la largeur des œufs ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse ($\pm 0,01$ mm). L'indice de forme a été calculé selon Reddy et al (1979). Après cassage, les composants de l'œuf ont été déposés sur une plaque de verre plane. La hauteur d'albumen a été déterminée à l'aide d'une règle graduée placée à un centimètre du contour du jaune. Les unités Haugh (HU) ont été déterminées à partir de la hauteur d'albumen (H) et du poids de l'œuf entier (W) suivant la formule décrite par Haugh (1937) : $HU = 100 \log (H - 1,7 W^{0,37} + 7,6)$. La hauteur du jaune a été déterminée en plaçant la règle verticalement derrière celui-ci (Angrand, 1986). Après séparation, le poids de l'albumen et celui du jaune ont été déterminés ($\pm 0,01g$). Le ratio Jaune : Albumen (V:A) a ensuite été calculé. Le pH a été mesuré avec un pH-mètre portatif étalonné dans l'albumen et le jaune. La proportion d'albumen, du jaune et celle de la coquille ont été calculées en divisant le poids de chaque composant par le poids de l'œuf entier. La composition chimique de l'œuf (protéines et lipides) a été déterminée selon AOAC (1990).

2.2. Analyses et traitement statistique des données

Les statistiques descriptives (moyenne, écart-type) ont été calculées pour chaque variable. Afin de déterminer l'effet du génotype, les données obtenues ont été soumises à une analyse de variance à un facteur. La plus

petite différence significative a été retenue lorsque l'effet du génotype a été significatif. Les différences ont été déclarées significatives à $p < 0,05$. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés pour mesurer les relations entre paramètres. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Software SPSS, version 20.

3. Résultats et discussion

3.1. Poids entier et conformation externe de l'œuf

Les données sur le poids de l'œuf entier et les paramètres de conformation sont présentées au tableau 1. Le poids moyen des œufs issus de poules portant les caractères Na, F (58,6g) était en général intermédiaire, mais plus proche de celui des œufs sélectionnés (61,54g). Plusieurs auteurs (Akouango et al., 2004 ; Dafaalla et al., 2005 ; Fosta, 2008 ; Keambou et al., 2009) ont rapportés des poids inférieurs compris entre 37,95 44,9g et sur les œufs locaux de certaines régions d'Afrique. Moula (2012) a rapporté des poids moyens compris entre 50,23 et 54,32g sur les œufs de la poule locale en basse Kabylie. L'effet favorable des gènes à effet visible Na et F séparément ou en combinaison sur le nombre et le poids des œufs a été mis en évidence dans plusieurs travaux (Horst, 1988 ; Mathur et Horst 1990 ; Egahi et al., 2013). Dans tous les cas, les individus portant ces gènes supportent mieux les hautes températures, résistent mieux au coups de chaleur fréquents de la période estivale et y sont plus performants (Bordas et al., 1980 ; Monnet et al., 1980 ; Halbouche et al., 2012).

Les œufs des génotypes locaux (NaF et NORM) ont été moins larges ($P < 0,01$) que les œufs de la souche industrielle. Aucune différence pour la longueur n'a toutefois été observée entre les œufs de poules NaF et les œufs sélectionnés. Ces derniers, avaient un indice de forme moyen plus élevé (75,8 vs 73,1 et 73,3; $p < 0,05$). Nos résultats sont en accord avec ceux de Keambou et al. (2009) qui rapportent des indices de forme compris entre 72,67 et 73,04 chez les œufs locaux au Cameroun. En revanche, Egahi et al. (2013) ont noté que les œufs issus de poules locales normalement emplumées présentent des indices de forme plus élevés que ceux des œufs de poules homozygotes frisées ou cou nu. Selon King'ori (2012), la taille, l'âge, l'état sanitaire ainsi que la structure interne de la poule constituant, entre autres, des facteurs pouvant influencer fortement la forme de l'œuf. Globalement, les indices de forme trouvés dans cette étude sur les œufs issus de poules locales sont inférieurs à la norme requise de 75 pour les œufs devant être conditionnés dans les emballages standardisés (Smith, 1992).

Tableau 1: Effet du génotype sur le poids de l'œuf entier, la longueur, la largeur et l'indice de forme (Moyenne±écart-type).

Table 1: Effect of genotype on egg weight, egg length, egg width and egg shape index (Mean±standard deviation).

Paramètres	Génotype ¹			F	PPDS
	LT	NORM	NaF		
	(n=100)	(n=100)	(n=100)		
Poids total (g)	61,54±4,95 ^a	52,23±6,55 ^c	58,6±4,45 ^b	49,03**	3,31*
Longueur (cm)	5,4±0,23 ^a	5,25±0,36 ^b	5,41±0,24 ^a	9,14**	0,21*
Largeur (cm)	4,1±0,15 ^a	3,82±0,21 ^c	3,95±0,12 ^b	59,04**	0,11**
Indice de forme	75,8± 3,2 ^a	73,1± 4,3 ^b	73,3±3,9 ^b	9,44**	0,05*

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$.

¹LT : Lohmann Tradition, NORM : Normalement emplumé, NaF : Cou nu frisé

3.2. Caractéristiques des composants de l'œuf

Poids et proportion de la coquille. La souche commerciale a eu le poids de coquille le plus élevé ($p < 0,05$), sa supériorité par rapport au groupe à plumage normal et le groupe mutant étant respectivement 0,85 et 0,67g. Moula et al. (2010) ont rapporté que le poids de la coquille des œufs issus de la souche ISA Brown était plus élevé que celui des races locales belges : la Famennoise et l'Ardennaise. Quant à la proportion de coquille, elle varie en moyenne de 12,51 à 13,02 % sur l'ensemble des groupes génétiques sans toutefois présenter de différences significatives entre eux ($p > 0,05$). Des valeurs inférieures à celles de la présente étude (9,2% et 8,7%) ont été rapportées en Egypte respectivement chez les poules hétérozygotes cou nu et les poules à plumage normal (El-Safty et al. 2006).

Qualité de l'albumen. Le poids moyen de l'albumen varie de 29 à 37,4g alors que sa proportion varie de 54,8 à 62 % sur l'ensemble des génotypes. Les œufs de la souche commerciale ont manifesté leur supériorité ($p < 0,01$) pour ces deux caractères par rapport aux génotypes locaux. Moula et al. (2010) rapportent que les œufs des souches améliorées ISA Brown et CoqArd contiennent respectivement 41,8 et 36,2g d'albumen. Des poids

moins élevés compris entre 30,9 et 33,2g ont été relevés sur les œufs issus de la souche White Leghorn (Sreenivas et al., 2013). Aucune différence significative ($p>0,05$) n'a été constatée entre les œufs locaux et les œufs issus des poules NaF pour ces mêmes caractères. L'effet du génotype n'a pas été significatif sur la hauteur de l'albumen ($p>0,05$). Nos résultats se distinguent de ceux de Egahi et al. (2013) mettant en évidence la supériorité des poules uniquement frisées ou cou nu pour la hauteur de l'albumen par rapport aux poules à plumage normal. A l'opposé, Bordas et al. (1980) indiquent que la hauteur de l'albumen chez les individus normalement emplumés est plus élevée que celle des individus cou nu. Selon le même auteur, le gène Na semble ainsi, associé à la production d'albumen plus fluide. Le pH moyen de l'albumen varie significativement ($p<0,01$) de 8,64 chez les œufs NaF à 8,91 chez les deux autres groupes. Les valeurs trouvées dans cette étude sont comparables à celles obtenues par Moula et al. (2009) sur la Famennoise, mais supérieures à celles rapportées par Scott et Silversides (2000) sur les œufs frais issus de ISA Brown et ISA White.

Qualité du jaune. Nos observations relatives à la qualité du jaune mettent en évidence que les porteurs à la fois des mutations Na et F ont, en moyenne, une production de jaune plus élevée (+3,1g ; $p<0,01$) suivis par le phénotype normalement emplumé. De même, le diamètre du jaune est significativement (+0,22cm ; $p<0,01$) plus grand chez les mutants. Ce constat a été également observé par Egahi et al. (2013). Des valeurs semblables pour le diamètre du jaune ont été rapportées par Alewiet al. (2012) sur la poule local de Kei et son croisement avec la race Fayoumi et Rhode Island Red. Quoique les 3 génotypes se classent dans le même ordre pour le pourcentage et la hauteur du jaune, il n'y a pas d'écart significatif cette fois, entre les mutants NaF et NORM pour ces deux caractères. Etant liée à un plus fort taux de matière sèche dans l'œuf et aussi à un apport plus important d'acides gras essentiels, une proportion de jaune plus élevée peut être considérée comme favorable du point de vue de la valeur nutritive de l'œuf (Benabdeljelil et Mérat, 1995). Selon Beaumont et al. (2010), la proportion du jaune est le critère le plus souvent pris en considération en sélection commerciale. Ce caractère donne une idée sur la « valeur » de l'œuf. D'une manière générale, les proportions de jaune trouvées dans la présente étude sont comparables à celles obtenues par Benabdeljelil et Mérat (1995) chez les souches ISA Brown et le croisement Fayoumi x Leghorn à l'âge de 62 semaines mais inférieures à celles obtenues chez les poules locales normalement emplumées et chez les poules cou nu dans différentes zones agro-écologiques en Ethiopie (Melesse et al., 2010 ; Melesse et al., 2013). Les œufs issus des poules NaF avaient un pH du jaune moins élevé ($p<0,05$) que les deux autres groupes. L'effet du génotype sur le pH du jaune a été également mis en évidence par Moula et al. (2009).

Ratio V:A. L'effet du génotype sur le ratio V:A a été hautement significatif ($p<0,01$). Les génotypes mutants NaF ont manifesté leur supériorité pour ce caractère avec un rapport V:A de 61% suivi par le génotype NORM (58%) et LT (41%). Nos résultats recoupent ceux de Moula et al. (2009) rapportant que les races locales belges (Ardennaise et Famennoise) présentent des ratios V:A plus élevés que ceux de la souche Lohmann (53,94 et 48,92% vs 43,13% respectivement). En revanche, Chez la race Fayoumi, Mérat et Bordas (1982) ont rapportés des ratios supérieurs compris entre 60,4% et 63,1%. L'effet favorable du gène Na sur ce caractère a été démontré par Bordas et al. (1980).

Indice Haugh. L'indice Haugh a été calculé afin d'évaluer la fraîcheur des œufs dans les différents groupes. Celui-ci varie de 75,2 à 77,6 sans toutefois présenter des différences significatives ($p>0,05$) entre les trois génotypes. Ces résultats sont en désaccord avec les constatations de Egahi et al. (2013) mettant en évidence la supériorité des poules locales Nigériennes normalement emplumées par rapport aux poules frisées et les poules cou nu pour ce caractère. En revanche, Moula et al. (2010) rapportent que les souches commerciales présentent des indices Haugh plus élevées que les races locales. Il semble par ailleurs que les œufs à coquille brune présentent un indice Haugh plus élevé que leurs homologues à coquille blanche (Rajkumar et al., 2009). En revanche, Silversides et Scott (2001) ont estimé que le pH du blanc constitue un meilleur indicateur de la fraîcheur des œufs que la hauteur de l'albumen.

Teneurs en protéines et en lipides. Aucune différence significative ($P>0,05$) n'a été relevée entre les groupes génétiques pour la teneur en protéines totales. Isidahomen et al. (2013) ont, par contre, rapporté la supériorité du génotype Na par rapport à ses homologues à plumage frisé et ceux normalement emplumés pour ce même caractère. Quant à la teneur en lipides, nous avons observé une légère tendance à plus de graisses chez les œufs NaF. Les données de cette étude sont inférieures à celles obtenues par Al-Obaidi et al. (2011). Dans tous les cas, plusieurs auteurs mettent en évidence l'influence de la race, l'âge, la ration et la lignée des volailles sur la teneur en lipides et le profil des acides gras (Cherian et Sim, 1991 ; Ahn et al., 1995).

3.3. Corrélations phénotypiques

Les corrélations phénotypiques entre les différents caractères de la qualité des œufs chez les trois groupes génétiques sont présentées aux tableaux 3, 4 et 5. Chez les poules locales normalement emplumées, le poids de l'œuf a été positivement corrélé avec le poids de l'albumen (+0,90 ; $p<0,01$), le poids de la coquille (+0,69 ;

$p<0,001$), le poids du jaune (+0,51 ; $p<0,01$) et le diamètre du jaune (+0,63 ; $p<0,001$). Une corrélation positive entre le poids de la coquille et la hauteur du jaune (+0,60 ; $p<0,001$) a été également observée. Chez les génotypes mutants, le poids de l'œuf a été positivement corrélé avec le poids de l'albumen (+0,77 ; $p<0,001$), mais négativement corrélé avec la proportion de coquille (-0,71 ; $p<0,001$) et le ratio V:A (-0,71 ; $p<0,001$). Chez ce groupe, la relation entre le poids de la coquille et le diamètre du jaune a été modérée et hautement significative (+0,56 ; $p<0,001$). De plus, la proportion de coquille a été positivement corrélée avec la proportion du jaune (+0,62 ; $p<0,001$) mais négativement corrélée avec celle de l'albumen (-0,77 ; $p<0,001$). Les différences observées dans cette étude entre le génotype normalement emplumé et le génotype mutant en termes de corrélations phénotypiques entre certains caractères mesurés ont été rapportées par Udoh et al. (2012). Chez la souche commerciale, la relation entre le poids entier et le poids d'albumen a été plus intense (+0,95 ; $p<0,001$) comparée à celle obtenue chez les génotypes locaux. Le poids de l'œuf a été également corrélé avec le poids de la coquille (+0,55 ; $p<0,01$), la longueur (+0,67 ; $p<0,001$) et la largeur de l'œuf (+0,85 ; $p<0,001$). D'une manière générale, les corrélations positives observées entre le poids entier et certains caractères de l'œuf, notamment avec le poids de l'albumen indiquent que la qualité des œufs de la poule locale peut être améliorée par un programme de sélection approprié. Des résultats similaires ont déjà été rapportées dans des études antérieures (Udoh et al., 2012 ; Scott et Silversides, 2000 ; Sreenivas et al, 2013 ; Laxmi, 2006).

Tableau 2: Effet du génotype sur le poids de la coquille et les caractéristiques internes de l'œuf (Moyenne±écart-type).

Table2: Effect of genotype on eggshell weight and internal egg quality characteristics (Mean±standard deviation).

Paramètres	Génotype ¹			F	PPDS
	LT	NORM	NaF		
	(n=45)	(n=45)	(n=45)		
Poids de la coquille (g)	8,1±0,76 ^a	6,58±0,96 ^c	7,43±0,98 ^b	41,46**	0,70*
Poids de l'albumen (g)	37,31±4,06 ^a	29±3,79 ^b	30,78±4,34 ^b	72,57**	2,11**
Poids du vitellus (g)	16,78±1,85 ^b	16,99±2,98 ^b	20±2,91 ^a	28,05**	2,04**
Albumen (%)	62,02±2,53 ^a	55,26±3,18 ^b	54,82±5,13 ^b	34,24**	14,25**
Vitellus (%)	25,14±2,03 ^b	31,72±3,12 ^a	32,67±4,87 ^a	40,27**	2,47**
Coquille (%)	12,85±1,00	13,02±1,13	12,51±1,18	1,66 ^{ns}	-
Ratio (V:A) (%)	0,41±0,05 ^b	0,58±0,09 ^c	0,61±0,14 ^a	34,28**	0,078**
pH de l'albumen	8,91±0,36 ^a	8,91±0,35 ^a	8,64±0,22 ^b	6,71**	0,245**
pH du vitellus	6,79±0,43 ^a	6,82±0,58 ^a	6,48±0,2 ^b	5,64**	0,26*
Diamètre du vitellus (cm)	3,66±0,15 ^b	3,70±0,17 ^b	3,9±0,23 ^a	17,2**	1,46**
Hauteur du vitellus (cm)	1,56±0,23 ^b	1,97±0,18 ^a	2,1±0,37 ^a	30,36**	2,12**
Hauteur de l'albumen (cm)	0,63±0,1	0,58±0,06	0,58±1,43	2,11 ^{ns}	-
Unités d'Haugh	77,57±7,09	76,89±5,18	75,18±10,9	1,03 ^{ns}	-
	(n=15)	(n=15)	(n=15)		
Protéines	13,07±0,8	12,61±0,9	12,56±1,25	1,18 ^{ns}	-
Lipides	9,21±0,48 ^b	9,11±0,87 ^b	10,08±0,93 ^a	10,7***	0,7***

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes.

* $P<0,05$, ** $P<0,01$, *** $P<0,001$, ^{ns} $P>0,05$.

¹LT : Lohmann Tradition, NORM : Normalement emplumé, NaF : Cou nu frisé

Tableau 3: Corrélations de Pearson¹ entre les paramètres de la qualité de l'œuf mesurés chez les poules normalement emplumées (n=45).**Table 3:** Pearson correlations between egg quality traits recorded for normal feathered local chickens (n=45).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1															
2	0,90	1														
3	0,51		1													
4	0,69	0,55		1												
5	0,34	0,72	-0,57		1											
6	-0,31	-0,67	0,66	-0,32	-0,94	1										
7				0,63			1									
8	-0,33	-0,70	0,62		-0,97	0,99		1								
9			-0,40		0,34	-0,32			1							
10			0,35*							1						
11	0,33	0,22		0,60							1					
12	0,63	0,49	0,57									1				
13								0,35					1			
14									0,33					1		
15													0,32	0,34	1	
16								-0,34						0,60	-0,54	1

1 : Poids entier ; 2 : Poids Albumen ; 3 : Poids Vitellus ; 4 : Poids. Coquille ; 5 : % Albumen ; 6 : % Vitellus ; 7 : % Coquille ; 8 : Ratio V:A (%) ; 9 : Hauteur Albumen ; 10 : pH Albumen ; 11 : Hauteur. vitellus ; 12 : Diamètre vitellus ; 13 : pH vitellus ; 14 : Longueur ; 15 : Largeur ; 16 : Indice de forme. ¹Toutes les corrélations sont significatives au seuil $P=0,05$.

Tableau 4 : Corrélations de Pearson¹ entre les paramètres internes et externes de l'œuf mesurés chez les poules cou nu frisé (n = 45).**Table 4:** Pearson correlations between egg quality traits recorded for naked neck-frizzled local chickens (n=45).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1															
2	0,77	1														
3		-0,44	1													
4			0,30	1												
5	0,55	0,95	-0,66	-0,41	1											
6	-0,45	-0,90	0,76		-0,98	1										
7	-0,71	-0,80		0,65	-0,77	0,62	1									
8	-0,71	-0,93	0,40		-0,93	0,88	0,82	1								
9		0,33	-0,48		0,40	-0,44			1							
10								-0,37	1							
11				0,33				0,54		1						
12	0,36		0,66	0,56	-0,39	0,42					0,31	1				
13				-0,41							-0,49	-0,41	1			
14														1		
15		-0,30	0,29		-0,30	0,33								0,35	1	
16														0,75	-0,36	1

1 : Poids entier ; 2 : Poids Albumen ; 3 : Poids Vitellus ; 4 : Poids. Coquille ; 5 : % Albumen ; 6 : % Vitellus ; 7 : % Coquille ; 8 : Ratio V:A (%) ; 9 : Hauteur Albumen ; 10 : pH Albumen ; 11 : Hauteur. vitellus ; 12 : Diamètre vitellus ; 13 : pH vitellus ; 14 : Longueur ; 15 : Largeur ; 16 : Indice de forme. ¹Toutes les corrélations sont significatives au seuil $P=0,05$.

Tableau 5 : Corrélations de Pearson¹ entre les paramètres de la qualité de l'œuf mesurés chez les poules Lohmann Tradition (n=45).**Table 5:** Pearson correlations between egg quality traits recorded for Lohmann Tradition strain (n=45).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1															
2	0,95	1														
3	0,34		1													
4	0,55	0,36	0,34	1												
5	0,63	0,83	-		1											
6	-	-	0,50		-	1										
7		-		0,64	-		1									
8	-	-	0,49		-	0,99	0,44	1								
9									1							
10									-	1						
11											1					
12												1				
13			0,35										1			
14	0,67	0,69			0,56	-	-	-						1		
15	0,85	0,80	0,38	0,42	0,50	-	-	-					0,37	0,45	1	
16														0,70	-	1

1 : Poids entier ; 2 : Poids Albumen ; 3 : Poids Vitellus ; 4 : Poids. Coquille ; 5 : % Albumen ; 6 : % Vitellus ; 7 : % Coquille ; 8 : Ratio V:A (%) ; 9 : Hauteur Albumen ; 10 : pH Albumen ; 11 : Hauteur. vitellus ; 12 : Diamètre vitellus ; 13 : pH vitellus ; 14 : Longueur ; 15 : Largeur ; 16 : Indice de forme.¹Toutes les corrélations sont significatives au seuil $P=0,05$.

4. Conclusion

Dans la présente étude, nous avons relevé quela présence des deux caractères Na et F en combinaison permettent une augmentation de plusieurs grammes du poids moyen des œufs, une meilleure qualité du jaune et un bon potentiel d'apport lipidique. Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour estimer l'effet des allèles Na et F en combinaison sur la solidité des coquilles. Il est prématuré, bien entendu, de conclure quant à une utilisation pratique éventuelle des gènes Na et F pour la production d'œufs en climat chaud, notamment dans le sud algérien. Des recherches ultérieures portant sur des effectifs plus grands et à des températures plus élevées sont justifiées pour évaluer de façon plus précise les avantages apportés par cette structure génétique sur les caractéristiques de l'œuf.

Références bibliographiques

- Ahn D.V., Sunwoo H.H., Wolfe F.H et Sim J.S. «Effects of dietary alpha linolenic acid and strains of hen on fatty acid composition, storage stability, and flavor characteristics of chicken eggs ». Poult. Sci., 74, 1995, 1540-1547.
- Akouango F., Mouango F et Ganongo G. «Phénotypes et performances d'élevage chez des populations locales de volailles à Brazaville ». Cahiers Agriculture, 13 (3), 2004, 257- 262.
- Albrecht H.N. «Reproductive Soundness and Egg Quality in Chickens Selected for Lowand High Antibody Response ». 2011. Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Alewi M., Melesse A et Teklegiorgis Y. «Crossbreeding Effect on Egg Quality Traits of Local Chickens and Their F1 Crosses With Rhode Island Red and Fayoumi Chicken Breeds Under Farmers' Management Conditions ». J. Anim. Sci. Adv.,2 (8), 2012, 697-705.
- Alipanah M., Deljo J., Rokouie M et Mohammadnia R. «Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in Khazan layers ». Trakia Journal of Sciences, 2, 2013, 175-180.
- Al-Obaidi F. A., Al-Shadeedi S.M.J et Al-Dalawi R.H. «Quality, Chemical and Microbial Characteristics of Table Eggs at Retail Stores in Baghdad ». Int. J. Poult. Sci., 10 (5), 2011, 381-385.
- Angrand A. «Contribution à l'étude de la qualité commerciale des œufs de consommation de la région de Dakar (Sénégal) ». Thèse de doctorat, E. I. S. M.Y, 1986, 158 pp.
- AOAC. «Official Methods of Analysis». 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C, 1990, 1298 p.

- Beaumont C., Calenge F., Chapuis H., Fablet J., Minvielle F et Tixier-Boichard M. «Génétique de la qualité de l'œuf». INRA. Prod. Anim., 23(2), 2010,123-132.
- Benabdeljelil K., Mérat P. «Comparaison de types génétiques de poules pour une production d'œufs locale: F1 (Fayoumi x Leghorn) et croisement terminal ISA au Maroc ». Annales de zootechnie, 44, 1995, 313-318.
- Bordas A., Monnet L.E et Mérat P. «Gène Cou nu, performances de ponte et efficacité alimentaire selon la température chez la poule ». Ann. Génét. Sél. Anim., 12(4), 1980, 343-361.
- Cherian G et Sim J.S. «Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks ». Poult.Sci., 70, 1991, 917-922.
- Dafaalla M.M., Ibrahim A.Y., Kheir M.A., Jin-yu W et Hussein H.M. «Comparison of the Egg Characteristics of Different Sudanese Indigenous Chicken Types ». Int. J. Poult. Sci., 4 (7), 2005, 455-457.
- Egahil. O., Dim N.I et Momoh O.M. «The effect of plumage modifier genes on egg quality indices of the Nigerian local chicken». IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 2 (2), 2013, 04-06.
- El-Safty S.A., Ali U.M and Fathi M.M. «Immunological parameters and laying performance of naked neck and normally feathered genotypes of chicken under winter conditions of Egypt». Int. J. Poult. Sci., 5, 2006,780-785.
- FAO. «Comment nourrir le monde en 2050». Forum d'experts, Rome, 12 et 13 octobre, 2009, p. 2.
- Fosta J.C. «Caractérisation des populations de poules locales (*Gallus gallus*) au Cameroun». Thèse de Doctorat, INA- Paris-Grignon, 2008, p301.
- Halbouche M., Dahloum L., Mouats A., Didi M., Ghali S, Boudjenah W et Fellahi A. «Inventaire phénotypique des populations avicoles locales de l'Ouest algérien. Etude des caractéristiques des œufs et des animaux». *Premières journées d'étude sur les Ressources génétiques avicoles : Potentiels et perspectives de valorisation*, 23 et 24 juin, 2009. Université de Mostaganem.
- Halbouche M., Dahloum L.,Mouats A., Didi M., Benabdelmoumene D et Dahmouni Z. «Sélection D'une Souche Avicole locale Thermotolérante en Algérie. Programme et Résultats Préliminaires ». European Journal of Scientific Research., Vol.71 No.4, 2012, 569-580.
- Halbouche M. «Aviculture, gènes et climat: la nouvelle révolution des gènes adaptatifs». *Ressources Génétiques Animales en Algérie, 11èmes journées internationales des sciences vétérinaires*, 30 Nov et 01 Déc, 2013, ENSV, Alger.
- Haugh R. R. «The Haugh unit for measuring egg quality». US Egg Poult. Mag., (43): 1937, 522–555, 572–573.
- Horst P. «Native fowl as reservoir for genome and major genes with direct and indirect effects on productive adaptability». In *Proceedings of the 18th World's Poultry Congress, held 4–9 September, Nagoya, Japan*, World's Poultry Science Association, 1988,pp 99–105.
- Isidahomen C.E., Njidda A.A et Olatunji E. A. « Egg Quality Traits of Indigenous and Exotic Chickens As Influenced By Specific Genes ». Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, Vol.3, No.1, 2013.
- Jin Y. H., Lee K. T., Lee W. I et Han Y. K. «Effects of Storage Temperature and Time on the Quality of Eggs from Laying Hens at Peak Production ». Asian-Aust.J. Anim. Sci., 24 (2), 2011, 279-284.
- Keambou T.C., Boukila B., Moussounda G et Manjeli Y. «Comparaison de la qualité des œufs et des performances de croissance des poussins locaux des zones urbaines et rurales de l'Ouest-Cameroun ». Int. J. Biol. Chem. Sci., 3(3), 2009, 457-465.
- King'ori A.M. «Poultry egg external characteristics: Egg weight, Shape and Shell Color ». Res. J. Poult. Sci., 5(2), 2012, 14-17.
- Laxmi P.J. «Correlations among various egg quality traits in White Leghorn ». Indian. Vet. J., 83, 2006, 59-62.
- Mathur P. K et Horst P. «Single and combined effects of tropically relevant major genes on performance of layers ». In *Proceedings of the 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Edinburgh, UK., 16. 1990.
- Melesse A., Maak S et Von Lengerken G. «Effect of long-term heat stress on egg quality traits of Ethiopian naked neck chickens and their F1 crosses with Lohmann white and new Hampshire chicken breeds». Livestock Research for Rural Development.,22, 2010.
- Melesse A., Worku Z et Teklegiorgis Y. «Assessment of the Prevailing Handlin and Quality of Eggs from Scavenging Indigenous Chickens Reared in Different Agro-Ecological Zones of Ethiopia». J. Environ. Occup. Sci., 2(1), 2013, 1-8.
- Mérat P et Bordas A. «Etude des particularités de la poule Fayoumi: Performances de ponte en cages individuelles à deux températures». Ann. Génét. Sél. Anim., 14 (2), 1982, 241-244.
- Monnet L.E., Bordas A et Merat P. «Gène Cou nu, poids corporel et paramètres anatomiques et physiologiques des poulettes et poules adultes selon la température». Ann. Génét. Sélec. Anim., 12(3), 1980, 241-254.
- Monnet L.E. «Effets du gène Na (cou nu) sur les performances de croissance et de ponte en relation avec les températures ambiantes chez la poule domestique (*Gallus domesticus*)». Thèse de docteur-ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1980, 154p

- Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F., Leroy P. «Evaluation of the Production Performances of an Endangered Local Poultry Breed, the Famennoise». *Int. J. Poult Sci.*, 8 (4), 2009, 389-396.
- Moula N., Antoine-Moussiaux N., Decypere E., Farnir F., Mertens K., De Baerdemaeker J., Leroy P. «Comparative study of egg quality traits in two Belgian local breeds and two commercial lines of chickens». *Arch. Geflügelkd.*, 74 (3), 2010, 164–171.
- Moula N. «Biodiversité avicole dans les pays industrialisés et en développement: caractérisation et étude des performances de production de races gallines locales. Exemple de la Belgique, de l'Algérie, du Vietnam et de la République démocratique du Congo». Thèse de doctorat, Université de Liège, Département des productions animales, 2012, 228pp
- Moula N., Antoine-Moussiaux N., Ait Kaki A., Farnir F et Leroy P. «Comparaison de la qualité des œufs de la race de poule locale Kabyle et de son croisement avec la souche industrielle Isa-Brown». *10^{ème} Journées des Sciences Vétérinaires., ENSV d'Alger, Alger, Algérie*, 2012.
- N'dri A.L. «Etude des interactions entre génotype et environnement chez le poulet de chair et la poule pondeuse». Thèse de Doctorat, INA Paris-Grignon, Département des sciences animales, 2006, 225 pp.
- Rajkumar U., Sharma R.P., Rajaravindra K.S., Niranjana M., Reddy B.L.N, Bhattacharya T.K., Chatterjee R.N. «Effects of genotype and age on egg quality traits in naked neck chicken under tropical climate from India». *Int. J. Poult. Sci.*, 8, 2009, 1151-1155.
- Reddy P.M., Reddy V.R., Reddy C.V et Rap P.S.P. «Egg weight, shape index and hatch ability in Khaki Campbell duck egg». *Indian. J. Poult. Sci.*, 14, 1979, 26- 31.
- Scott T.A et Silversides F.G. «The effect of storage and strain of hen on egg quality». *Poult. Sci.*, 79, 2000, 1725-1729.
- Silversides F.G et Scott T. A. «Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens». *Poult. Sci.*, 80, 2001, 1240–1245.
- Silversides F.G et Budgell K. «The relationships among measures of egg albumen height, pH and whipping volume». *Poult. Sci.*, 83, 2004, 1619-1623.
- Smith A.J. «L'élevage de la Volaille». Agence de la coopération culturelle et technique ». Paris, édition Maisonneuve et Larose, 1992, 183p.
- Sreenivas D., Gnana Prakash M., Mahender M et Chatterjee R.N. «Genetic analysis of egg quality traits in White leghorn». *Vet. World.*, 6(5), 2013, 263-266.
- Udoh U.H., Okon B et Udoh A.P. «egg quality characteristics, phenotypic correlation and prediction of egg weight in three (Naked neck, Frizzled feather and Normal feathered) Nigerian local chickens ». *Int. J. Poult. Sci.*, 11 (11), 2012, 696-699.

ARTICLE 4.

**CONFORMATION CORPORELLE ET COMPOSITION ANATOMIQUE
CHEZ LE POULET LOCAL. COMPARAISON AVEC LA SOUCHE
COMMERCIALE.**

**Body conformation and anatomical composition of indigenous chicken.
Comparison with commercial broiler line.**

**Revue agriculture 12(2016) 19-24
~UFAS SETIF~**



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE



Conformation corporelle et composition anatomique chez le poulet local. Comparaison avec la souche commerciale **Body conformation and anatomical composition of indigenous chicken. Comparison with commercial broiler line**

DAHLOUM Lahouari* et HADJOU DJ Saber

Laboratoire de physiologie animale appliquée (LPAA), Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 27000, Algérie

Auteur correspondant : [*hdahloum@univ-mosta.dz](mailto:hdahloum@univ-mosta.dz) Tél : (+213)7.90.61.48.69

ARTICLE INFO

Reçu : 03-11-2016

Accepté : 29-12-2016

Mots clés :

Poulet local, souche commerciale, mensurations corporelles, composition anatomique, corrélations phénotypiques.

Key words :

Local chicken, commercial broiler line, body linear measurements, anatomical body

RÉSUMÉ

Les races de poules locales constituent un outil important pour la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté des familles rurales. Cette étude consiste à décrire les caractéristiques morpho-pondérales de deux types génétiques de poulet (souche commerciale et race locale). Soixante coqs provenant de la région de Mazouna (Wilaya de Relizane) ont été utilisés dans cette étude. Le génotype local manifeste sa supériorité pour la longueur du cou, la longueur des pattes et la hauteur de la crête. Au contraire, le rendement à l'abattage, le poids des abats consommables (cœur, gésier, foie) et celui des intestins, sont en faveur de la souche commerciale ($P < 0,001$). Il paraît que le poids vif est positivement lié à la longueur du corps ($+0,40$; $P < 0,05$) et l'envergure ($+0,36$; $P < 0,05$) chez la souche industrielle. A l'exception du poids de la carcasse, nous avons observé chez les deux groupes génétiques que le poids vif n'est pas significativement lié aux paramètres anatomiques ($P > 0,05$). Ces résultats peuvent contribuer à une meilleure connaissance du poulet local en Algérie et méritent d'être complétés pour mieux exploiter son potentiel génétique.

ABSTRACT

Indigenous breeds of chickens are playing an important role in poverty alleviation and improvement of family food security. This work aims to compare between two different genotypes : commercial strain and local chicken in terms of some morphological and anatomical traits. The study was carried out on 60 Sixty cocks (30 for each genotype) from Mazouna province (North west of Algeria). LC showed the highest values for neck length, tarsus length and comb height ($P < 0,001$). However, carcass yield, edible offals (heart, gizzard and liver) and viscera weights were in favor of the commercial strain ($P < 0,001$). Phenotypic correlations matrices revealed that body weight is moderately associated to body length ($+0,40$; $P < 0,05$) and wingspan ($+0,36$; $P < 0,05$) in industrial genotype. Except carcass weight, there is no significant correlations between body weight and anatomical body composition in both genotypes ($P > 0,05$). These findings may contribute to a better knowledge of the indigenous chickens in Algeria and need further studies to fully exploit their potential genetic.

1. INTRODUCTION

Les ressources génétiques avicoles, en système d'élevage traditionnel, sont formées d'une multitude de populations souvent mal caractérisées (Fosta, 2008). Du fait de leur adaptation génétique aux environnements hostiles caractérisés par des ressources alimentaires limitées, conditions climatiques difficiles beaucoup d'agents pathogènes ainsi que des prédateurs, les races de poules locales sont élevées par les petits exploitants ruraux et les fermiers pour la production de viande et d'œufs ainsi et pour les usages culturels. Sur le plan zootechnique, il s'agit généralement d'animaux à croissance lente dont les durées d'élevage sont nettement plus élevées que celles d'un poulet à croissance rapide. Les aptitudes de ces populations résultent des effets combinés de la dérive génétique, des mutations, de la sélection naturelle et de l'action de l'homme, qui se sont cumulés depuis leur domestication dans différentes conditions de milieu (N'dri, 2006).

Les méthodes de sélection au 20^e siècle ont considérablement amélioré la productivité des lignées commerciales, dont l'usage à très grande échelle s'est fait au détriment du développement ou de la survie des races locales (Larivière et Leroy, 2008). Ces dernières portent pourtant une panoplie de gènes adaptatifs particulièrement utiles dans le contexte actuel et futur des changements climatiques. L'amélioration par croisement n'est évidemment pas à exclure mais nécessite d'être contrôlée afin d'éviter l'écueil de l'érosion génétique au profit des souches industrielles, présentant le désavantage de la perte de caractères souhaitables de rusticité et d'adaptation aux conditions climatiques locales (Moula et al, 2009b).

En Algérie, l'élevage du poulet local est en nette régression du fait de l'urbanisation, aux changements socio-économiques et au succès de l'élevage moderne. De ce fait, la promotion du poulet local s'avère indispensable pour contribuer à l'accroissement de la production nationale en viande et en œufs et le protéger comme étant un patrimoine génétique national.

Cette étude vient, en effet, en continuité des travaux précédents (Dahloum et al, 2016, Dahloum et al, 2015 ; Halbouche et al, 2012 ; Halbouche et al, 2009) dans le cadre du programme de recherche inscrit au laboratoire de physiologie animale appliquée portant notamment sur la caractérisation et la valorisation des poulets locaux dans le Nord-Ouest algérien.

2. Matériel et méthodes

2.1. Animaux, mesures et calculs

Du fait de la grande différence des plages de variation liées au poids vif et la vitesse de croissance entre les deux types génétiques, nous avons utilisé dans cette étude des coqs locaux adultes âgés de ~6-8 mois et des coqs de souche industrielle à l'âge d'abattage, soit à 8 semaines. Au total, soixante coqs (30 de pour chaque génotype) ont été utilisés dans ce travail. Avant de démarrer l'expérience, les animaux locaux ont été maintenus pendant 1 mois dans un bâtiment séparé équipé de six mangeoires et de 3 abreuvoirs. Tous les animaux (locaux et sélectionnés) ont été nourris *ad libitum* avec le même aliment commercial.

Les paramètres mesurés sur oiseaux ont été le poids vif, la longueur du corps, l'envergure, la longueur du cou, la longueur du tarse, le diamètre du tarse et la hauteur de la crête. Les animaux ont ensuite été abattus et éviscérés de façon à obtenir le poids de la carcasse pleine, le poids des abats consommables (foie, cœur, gésier) et le poids des intestins. Les rendements ont ensuite été exprimés en pourcentages du poids vif. Les mensurations corporelles ont été réalisées à l'aide d'un mètre ruban. Une balance digitale de 5 kg a été utilisée pour déterminer le poids vif et le poids de la carcasse. Le poids des organes internes a été obtenu à l'aide d'une balance de précision (0,1g).

2.2. Traitement statistique des données

Les paramètres statistiques (moyenne et l'écart-type) ont été calculés pour chaque variable. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés pour estimer les relations entre paramètres. Pour comparer les moyennes, nous avons appliqué le test de Student et les différences sont déclarées significatives au seuil de 5%. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Software SPSS, version 20.

3. Résultats et discussion

La conformation d'un animal peut se définir de façon objective grâce à des mensurations corporelles. Différentes mensurations ont été étudiées sur de nombreuses espèces animales tant sauvages que domestiques : mesures sur l'animal vivant, sur la carcasse ou mensurations d'os. Chez les grandes espèces domestiques, les mesures sur animal vivant ont été souvent utilisées pour apprécier indirectement le poids vif et ont donné lieu à de nombreuses formules de barymétrie. Chez le poulet, la longueur de la patte, ou du tarsométatarse, a été utilisée pour définir la taille de l'animal dans plusieurs études de l'allométrie taille-poids (Ricard et al, 1965). D'autre part, la taille de la crête est associée au développement des gonades, donc liée à la maturité sexuelle (Nesheim et al., 1979).

Les paramètres morpho-métriques mesurés chez les coqs sélectionnés et locaux sont résumés au tableau 1. La souche commerciale manifeste sa supériorité pour la longueur du corps (21,9 cm contre 18,4 cm ; $P<0,001$) et l'envergure (50,2 cm contre 45,4 cm ; $P<0,001$). Des différences pour la longueur du cou, la longueur des pattes et la hauteur de la crête ont été également observées entre les deux génotypes avec une supériorité cette fois-ci pour le poulet local. Celui-ci présente un cou plus long (+ 0,8 cm ; $P<0,05$), des pattes plus allongées (+0,5 cm ; $P<0,05$) mais moins épaisses (-0,6 cm ; $P<0,001$) et une crête plus développée (+4,1 cm ; $P<0,001$).

Des valeurs moyennes similaires comprises entre 3,32 et 4,54 cm pour la taille de la crête chez les races locales ont été rapportés dans les travaux de Mahammi et al. (2014) et Moula et al. (2009a).

Chez le poulet, les parties corporelles non emplumées (crête, pattes, barbillons) présentent environ 15 % de la surface totale du corps de l'animal. Ces zones permettent une meilleure dissipation de chaleur et peuvent donc être envisagées favorablement pour le développement de races locales hautement performantes sous climat chaud. Selon Geraert (1991), ces organes ou zones moins bien isolés sont également le siège d'importants mécanismes vasomoteurs comme l'accroissement du flux sanguin et la diminution de la résistance vasculaire sous contrôle adrénérergique. Le flux sanguin peut aussi, selon le même auteur être conduit vers les capillaires à travers les anastomoses artério-veineuses, aboutissant à une meilleure efficacité des échanges thermiques. Autrement, 35 % du flux sanguin au niveau de la patte passe par les anastomoses artério-veineuses en ambiance chaude contre 16 % dans les conditions de thermoneutralité (Wolfenson 1983 cité par Geraert 1991). Á l'inverse, le flux sanguin vers la peau emplumée et les organes internes diminue lors de l'exposition au chaud.

Tableau 1: Moyenne $\pm$ écart-type (cm) des mensurations corporelles (30 coqs par type génétique).

Table 1 : Mean $\pm$ Standard deviation for body measurements (30 cocks for each genotype).

Paramètre	Génotype		Valeur de t	Sig.
	Sélectionné	Local		
Longueur du corps	21,9 $\pm$ 1,8	18,4 $\pm$ 1,9	7,09	$P<0,001$
Envergure	50,2 $\pm$ 2,7	45,4 $\pm$ 3,0	6,57	$P<0,001$
Longueur du cou	11,4 $\pm$ 1,2	12,2 $\pm$ 1,5	2,45	$P<0,05$
Longueur du tarse	6,8 $\pm$ 0,8	7,3 $\pm$ 0,8	2,28	$P<0,05$
Diamètre du tarse	4,9 $\pm$ 0,5	4,3 $\pm$ 0,6	3,89	$P<0,001$
Hauteur de la crête	0,8 $\pm$ 0,2	4,9 $\pm$ 1,2	18,5	$P<0,001$

L'examen des corrélations entre les paramètres morpho-pondéraux mesurés chez les deux types génétiques d'animaux (tableau 2) montre que le poids vif chez la souche industrielle est modérément associé à la longueur du corps ($r= +0,40$; $P<0,05$) et l'envergure ($r= +0,36$; $P<0,05$). Une relation positive de même intensité ($r= +0,36$; $P<0,05$) a été par ailleurs, soulevée entre la hauteur de la crête et la longueur du corps. Par contre, chez les coqs locaux, il est relativement surprenant de ne pas constater des valeurs significatives. Ceci peut éventuellement être expliqué par l'effectif limité disponible ici. Nos résultats recoupent malgré tout les observations faites auparavant par Halbouche et al (2012).

Tableau 2: Corrélation de Pearson (r)¹ entre les paramètres morpho-pondéraux chez les coqs sélectionnés « au-dessus de la diagonale » et les coqs locaux « au-dessous de la diagonale ». (30 coqs par type génétique).

Table 2 : Pearson correlations between body weight and body linear measurements recorded for commercial broiler line (above diagonal divide, $n=30$) and indigenous chicken (below diagonal divide, $n=30$).

	PV	LCOR	ENV	LP	DP	LCOU	HCR
PV	1	0,40*	0,36*	0,03 ^{NS}	0,21 ^{NS}	-0,09 ^{NS}	0,08 ^{NS}
LCOR	0,01 ^{NS}	1	0,29 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,14 ^{NS}	-0,29 ^{NS}	0,36*
ENV	-0,16 ^{NS}	0,06 ^{NS}	1	0,20 ^{NS}	-0,18 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,14 ^{NS}
LP	0,22 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1	0,18 ^{NS}	0,06 ^{NS}	-0,04 ^{NS}
DP	-0,02 ^{NS}	0,3 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	0,19 ^{NS}	1	-0,09 ^{NS}	-0,08 ^{NS}
LCOU	0,09 ^{NS}	-0,22 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	0,16 ^{NS}	-0,2 ^{NS}	1	-0,1 ^{NS}
HCR	-0,24 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,12 ^{NS}	1

PV : poids vif ; LCOR : longueur du corps ; ENV : envergure ; LP : longueur patte ; DP : diamètre patte ; LCOU : longueur du cou ; HCR : hauteur de la crête ; ¹Les valeurs sont significativement différentes de zéro : * $P<0,05$; ^{NS} : les valeurs ne sont pas significativement différentes de zéro ($P>0,05$)

Les données sur le poids de la carcasse, des viscères et des abats consommables (foie, cœur, gésier) et leurs pourcentages par rapport au poids vif de l'animal sont présentés au tableau 3. Les coqs de souche industrielle sont significativement plus lourds que leurs homologues locaux (2593,5 g contre 1482 g ; $P<0,001$). Ce fait paraît logique puisque les poulets traditionnels n'ont jamais été sélectionné pour ce paramètre, il est donc évident que leurs poids soit inférieurs à celui de la souche améliorée. Des valeurs similaires ont été rapportées dans des études précédentes (Moula et al, 2009a ; Bessadok et al 2003). Les coqs sélectionnés présentent un meilleur rendement en carcasse (76% contre 62%). Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Olawumi et al, (2011) et Akouango et al, (2010). La sélection génétique de souches « chair », visant principalement à augmenter la vitesse de croissance des animaux, a ralenti au fil des générations le développement relatif d'autres organes, appareils cardiovasculaire et pulmonaire notamment (Havenstein et al, 2003 cité par Collin et al, 2011). Ainsi, l'efficacité de certaines fonctions vitales comme la thermorégulation est altérée. Il nous a donc paru intéressant d'analyser la variabilité phénotypique de la composition anatomique chez le poulet. L'utilisation de cette variabilité peut être utile si elle permet d'améliorer la qualité de la production par la sélection.

Tableau 3: Moyenne $\pm$ écart-type (g) du poids vif, poids de la carcasse et poids des organes internes (30 coqs par type génétique).

Table 3 : Mean $\pm$ Standard deviation for live body weight, carcass weight and internal organe weight (30 cocks for each genotype)

Paramètre	Génotype		Valeur de t	Sig.
	Commercial	Local		
Poids vif	2593,5 $\pm$ 203	1482,0 $\pm$ 124,9	25,5	$P<0,001$
Poids carcasse	1985,0 $\pm$ 196	930,8 $\pm$ 123,2	24,9	$P<0,001$
Poids foie	77,7 $\pm$ 13,2	29,0 $\pm$ 1,0	17,8	$P<0,001$
Poids cœur	18,6 $\pm$ 5,6	11,0 $\pm$ 0,9	7,3	$P<0,001$
Poids gésier	77,7 $\pm$ 14,6	38,9 $\pm$ 8,5	12,6	$P<0,001$
Poids intestin	93,7 $\pm$ 16,8	61,8 $\pm$ 16,0	7,5	$P<0,001$
Poids carcasse/ poids vif	0,76 $\pm$ 0,05	0,62 $\pm$ 0,04	11,8	$P<0,001$
Poids foie/ poids vif	0,03 $\pm$ 0,005	0,02 $\pm$ 0,004	8,4	$P<0,001$
Poids cœur / poids vif	0,007 $\pm$ 0,002	0,007 $\pm$ 0,001	0,6	$P>0,05$
Poids gésier/ poids vif	0,03 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,006	2,2	$P<0,05$
Poids intestins/ poids vif	0,036 $\pm$ 0,008	0,04 $\pm$ 0,010	2,1	$P<0,05$

À partir des résultats obtenus, il ressort que la souche commerciale manifeste sa supériorité pratiquement sur l'ensemble des abats consommables (foie : +48,7 g, $P<0,001$; cœur : 7,6 g, $P<0,001$; gésier : +38,8 g, $P<0,001$; intestin : +31,9 g, $P<0,001$). Les travaux de Belabbas (2006) menée sur la souche commerciale Ross 308 montrent que le gésier se développe à une vitesse de croissance maximale (75%) vers la troisième semaine d'âge pour diminuer ensuite jusqu'à 4,8% vers la huitième semaine. Ceci peut être expliqué selon le même auteur par la taille des particules alimentaires sur la croissance du gésier. De plus, des différences significatives toujours en faveur de la souche industrielle ont été observées pour la proportion du foie (+1%, $P<0,001$), du gésier (+1%, $P<0,05$) et celle des intestins (+0,4%, $P<0,05$). Nos résultats rejoignent ceux de Youcif et al (2014) obtenus lors des comparaisons réalisées sur deux souches commerciales (Hybro et Hubbard) et trois races locales soudanaises.

Les corrélations phénotypiques estimées entre les paramètres anatomiques sont présentées dans le tableau 4. Chez les coqs améliorés, nous avons observé une corrélation élevée entre le poids vif et le poids de la carcasse ($r= +0,75$; $P<0,001$). Cette relation est encore plus intense chez le génotype local ($r= +0,93$; $P<0,001$). Toutefois, il paraît que les poids des organes internes étudiés ne sont pas associés au poids vif de l'animal, exception faite pour la relation modérée constatée entre le poids du foie et celui du cœur ($r=+0,37$; $P<0,05$) chez le génotype commercial. D'une façon générale, le développement des différents organes et tissus est souvent décrit par la notion d'allométrie. Il s'agit d'exprimer le logarithme du poids du tissu ou de l'organe en fonction du logarithme du poids vif pour des âges allant de la naissance à l'état adulte (Larbier et Leclercq, 1992).

Tableau 4:Corrélation de Pearson (r) entre les poids vif, le poids de la carcasse et le poids des organes internes chez les coqs sélectionnés « au-dessus de la diagonale » et les coqs locaux « au-dessous de la diagonale, (30 coqs par type génétique).

Table 4 : *Pearson correlations between live body weight, carcass weight and internal organe weight recorded for commercial broiler line (above diagonal divide, n=30) and indigenous chicken (below diagonal divide, n=30).*

	PV	PCARC	PCOEUR	PFOIE	PGES	PINTES
PV	1	0,75 ^{***}	0,27 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,21 ^{NS}	-0,15 ^{NS}
PCARC	0,93 ^{***}	1	0,34 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,22 ^{NS}	-0,33 ^{NS}
PCOEUR	0,32 ^{NS}	0,26 ^{NS}	1	0,37 [*]	0,08 ^{NS}	-0,12 ^{NS}
PFOIE	-0,14 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	1	0,00	0,19 ^{NS}
PGES	-0,26 ^{NS}	-0,22 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1	-0,16 ^{NS}
PINTES	0,07 ^{NS}	-0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	1

PV : poids vif ; PCARC : poids de la carcasse ; PCOEUR : poids du cœur ; PFOIE : poids du foie ; PGES : poids du gésier ; PINTES : poids de l'intestin ; ^{*}Les valeurs sont significativement différentes de zéro : $P < 0,05$; ^{***} $P < 0,001$; ^{NS} : les valeurs ne sont pas significativement différentes de zéro ($P > 0,05$).

4. Conclusion

Les données obtenues dans cette étude procurent une information complémentaire pour une meilleure connaissance des races locales les plus durables à long terme et dont les performances méritent une attention toute particulière. Ces résultats peuvent être également intéressants dans le cadre des programmes de conservation et de valorisation des races de poules locales. Il serait intéressant néanmoins d'étudier d'autres caractères et de suivre, en détail la croissance de la naissance à l'âge adulte pour mieux comprendre le développement global de l'animal en prenant en considération celui des organes internes et établir éventuellement des équations spécifiques de croissance.

Références bibliographiques

- Akouango F., Bandtaba P. et Ngokaka C. 2010. « Croissance pondérale et productivité de la poule locale *Gallus domesticus* en élevage fermier au Congo ». *Animal. Genetic. Resources*, 2010, 46, 61-5.
- Belabbas H. « Dynamique de croissance des organes chez le poulet de chair ». Mémoire de Magister, Université de Batna, Algérie, 2006.
- Bessadok A., Khochlef Imen. et El Gazzah M. « Etat des ressources génétiques de la population locale du poulet en Tunisie ». *Tropicultura*, 21(4), 2003, 167-172.
- Collin A., Bedrani L., Loyau T., Grasteau S., Métayer Coustard S., Praud C. et al. « Acclimatation des volailles au chaud et au froid pendant l'incubation ». *Journées de la Recherche Avicole*, Presented at 9. Journées de la Recherche Avicole, Tours, FRA, 2011, (2011-03-29 - 2011-03-30). <http://prodinra.inra.fr/record/264773>
- Dahloum L., Halbouche M. et Arabi A. « Evaluation de la qualité des œufs chez deux phénotypes de poules locales : cou nu- frisées et normalement emplumées. Comparaison avec les œufs de souche commerciale ». *Revue Agriculture*, (09), 2015, 10-18.
- Dahloum, L., Moula, N., Halbouche, M., and Mignon-Grasteau, S. « Phenotypic characterization of the indigenous chickens (*Gallus gallus*) in the northwest of Algeria ». *Archive. Animal. Breeding.*, (59), 2016, 79-90, doi:10.5194/aab-59-79-2016.
- Geraert, P.A. « Métabolisme énergétique du poulet de chair en climat chaud ». *INRA Productions animales*, 4 (3), 1991, 257-267.
- Fosta J.C. « Caractérisation des populations de poules locales au Cameroun ». Thèse PhD de l'Université de Dschang, Option génétique animale et systèmes de production, 2008, 301 pp.
- Halbouche M., Dahloum L., Mouats A., Didi M., Ghali S. et Boudjenah W (2009) Inventaire phénotypique des populations avicoles locales de l'Ouest algérien. Etude des caractéristiques des œufs et des animaux». *Premières journées d'étude sur les Ressources génétiques avicoles: Potentiels et perspectives de valorisation*, 23 et 24 juin. Université de Mostaganem.

- Halbouche M., Dahloum L., Mouats A, Didi M., Benabdelmoumene D, and Dahmouni Z. « Sélection d'une souche avicole locale thermotolérante en Algérie. Programme et résultats préliminaires » *European Journal of Scientific Research*, (71), 4, 2012, 569-580.
- Larivière J et Leroy P. « Conservation et valorisation de la diversité des ressources génétiques du poulet en Europe: initiatives et perspectives ». *Annales de Médecine Vétérinaire*, 2008, 152, 203-220.
- Mahammi F Z., Gaouar S B S., Tabet-Aoul N., Tixier-Boichard M. and Saïdi-Mehtar N. « Caractéristiques morpho-biométriques et systèmes d'élevage des poules locales en Algérie occidentale (Oranie) ». *Cahiers Agriculture*, 23, 2014, 382-392, doi: 10.1684/agr.2014.0722.
- Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F, et Leroy P. « Evaluation of the Production Performances of an Endangered Local Poultry Breed, the Famennoise ». *International Journal of Poultry Science*, 8 (4), 2009a, 389-396.
- Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F., Detilleux J. et Leroy P. « Rehabilitation socioéconomique d'une poule locale en voie d'extinction: la poule Kabyle (Thayazit lekvyel) ». *Annales de Médecine Vétérinaire*, 153, 2009b, 178-186.
- N'dri A L. « Etude des interactions entre génotype et environnement chez le poulet de chair et la poule pondeuse ». Thèse de Doctorat, INA Paris-Grignon, Département des sciences animales, 2006, 225 pp.
- Nesheim M C., Austic R E. and Card LE.. « Poultry production ». Lea and Febiger, 12th edition, Philadelphia, 1979, 58-92.
- Olawumi S O. « Influence of breed and season on reproductive traits of three strains of commercial layers in the derived savannah zone of Nigeria ». *International Journal of Agriculture and Food Science*, 2, 97, 2011, 104.
- Ricard F H., Rouvier R. and Marche G. « Etude des mesures de conformation du poulet. I - analyse statistique préliminaire concernant le poids et 13 mensurations corporelles du poulet Vivant ». *Annales de zootechnie*, INRA/EDP Sciences, 1965, 14 (2), pp.191-212.
- Weigend S and Romanov M.N. « Current strategies for the assessment and evaluation of genetic diversity in chicken resources ». *World's Poultry Science Journal* 57, 2001, 275-288.