

RECHERCHE DE NOUVEAUX INDICATEURS OU BIOMARQUEURS POUR L'AMELIORATION GENETIQUE DE LA QUALITE DU POUSSIN

Marie-Agnès Bergeot¹, Anne Collin², Angélique Travel³, Eva Pampouille³, Roland Akakpo¹, Emilie Raynaud², Estelle Cailleau-Audouin², Christophe Souchet³, Jérémy Bernard⁴, Laurence A. Guilloteau², Sonia Metayer-Coustard², Elisabeth Le Bihan-Duval²

¹SYSAAF, INRAE, Centre Val-de-Loire, 37380 NOUZILLY, France,

²INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 NOUZILLY, France,

³ITAVI, L'Orfrasière, 37380 NOUZILLY, France,

⁴INRAE, PEAT, 37380 NOUZILLY, France

elisabeth.duval@inrae.fr

RÉSUMÉ

L'amélioration de la qualité du poussin est un des objectifs prioritaires de la filière poulet de chair, en vue d'une limitation du recours aux antibiotiques et d'un meilleur compromis entre production, santé et bien-être des animaux. Cependant, il s'agit d'un caractère complexe qui recouvre des composantes multiples liées au statut métabolique, à l'état physique et au comportement du poussin, ou encore à sa capacité à croître et à faire face au stress pendant les premiers jours de vie. Le rôle de la génétique dans l'établissement de la qualité du poussin et les possibilités d'une amélioration par sélection restent à explorer. Nous avons bénéficié de deux lignées sélectionnées de façon divergente sur le pH ultime de la viande (pHu), un indicateur des réserves énergétiques musculaires, pour évaluer les réponses corrélées à la sélection sur la qualité du poussin et estimer les paramètres génétiques de différents indicateurs et biomarqueurs sanguins mesurés à l'éclosion (J0), le lendemain de l'éclosion après un démarrage challengeant les animaux (J1) et à l'âge de 7 jours (J7). Les mesures sur 321 animaux pedigree de la 15^{ème} génération montrent que la sélection pour une augmentation du pH ultime (lignée pHu+), qui altère les réserves énergétiques musculaires, est associée à une baisse du score visuel de qualité du poussin aux trois stades de mesure. Malgré un poids vif plus élevé à l'éclosion, les poulets de la lignée pHu+ présentent une moindre croissance relative pendant la première semaine d'élevage et un poids à l'abattage plus faible que la lignée pHu-. Au sein de ces lignées, le score de qualité à l'éclosion présente une héritabilité plutôt faible mais une corrélation génétique positive et élevée avec le gain de poids observé entre J1 et J7. De façon intéressante, des indicateurs plasmatiques liés aux capacités anti-oxydantes sont à la fois héritables et reliés génétiquement à la perte de poids au cours du premier jour de vie en conditions challengeantes (J0-J1). Ces premiers résultats montrent l'intérêt d'une approche globale d'évaluation de la qualité du poussin pour la recherche de critères d'intérêt pour la sélection.

ABSTRACT: Towards the search of new indicators and biomarkers for genetic improvement of chick quality.

The improvement of chick quality is one of the main objectives of the broiler industry, in view of limiting the use of antibiotics and improving the balance between production, health and animal welfare. However, chick quality is a complex trait, which covers multiple components related to the metabolic status, physical condition and behavior of the chick, or its ability to grow and cope with stress during the first days of life. The role of genetics in the determinism of chick quality and the possibilities of improvement by selection remain to be explored. We took advantage of two divergently selected lines on ultimate meat pH (pHu), a proxy for muscle energy reserves, to evaluate correlated responses to selection on chick quality and to estimate genetic parameters of different indicators and blood biomarkers measured at hatching (D0), the day after hatching after a challenging start (D1) and at 7 days of age (D7). Measurements on 321 pedigree animals of the 15th generation show that selection for an increase in ultimate pH (pHu+ line), which impairs muscle energy reserves, is associated with a decrease in the quality score of the chick at all three stages of measurement. Despite a higher body weight at hatching, birds of the pHu+ line showed a lower relative growth during the first week of rearing and a lower weight at slaughter than the pHu- line. Within these lines, the quality score at hatching shows a rather low heritability but a high positive genetic correlation with the weight gain observed between D1 and D7. Interestingly, plasma indicators related to antioxidant capacities are both heritable and genetically related to weight loss during the first day of life under challenging conditions. These first results show the interest of a global approach of the evaluation of the chick quality for the search of relevant criteria for selection.

INTRODUCTION

La qualité du poussin est un critère particulièrement important pour l'élevage avicole du fait de son rôle déterminant sur la capacité du jeune animal à faire face à des conditions de démarrage parfois perturbées (telles qu'un transport long ou une alimentation retardée), avec des effets à long terme sur la réussite du lot. Les impacts sont à la fois économiques mais également liés à la santé et au bien-être de l'animal. Ainsi, quand il est nécessaire, l'usage d'antibiotiques se concentre principalement sur la première semaine de vie des animaux, âge auquel les fonctions immunitaires sont encore immatures. Cette qualité du poussin recouvre de multiples composantes liées au développement de l'animal (poids, gain de poids...), sa viabilité ou encore son état physique et son comportement évalués au travers de différents indicateurs visuels tels que ceux proposés dans la grille de Tona (Tona et al., 2003). Les statuts métabolique et immunitaire contribuent également à la qualité du poussin, même si ce type d'indicateurs reste encore peu usité en pratique.

Le déterminisme de la qualité du poussin apparaît complexe. Alors que des facteurs liés à l'âge des reproductrices, au temps de stockage des œufs ou aux conditions d'incubation sont déjà bien décrits (pour revue voir Narinc et Aydemir, 2021 et Métayer-Coustard et al., 2022), le rôle de la génétique demeure quant-à-lui peu exploré. L'éclosion étant une étape particulièrement énergivore, le statut métabolique de l'animal en lien avec sa génétique peut donc affecter la qualité du poussin. Le premier objectif de cette étude était de comparer la qualité du poussin, évaluée dans ses différentes composantes, entre deux lignées de poulet de chair sélectionnées de façon divergente sur le pH ultime de la viande, reflet des réserves énergétiques musculaires. Le second objectif était d'évaluer, pour la première fois chez le poulet, le niveau d'héritabilité de différents indicateurs ou biomarqueurs de la qualité ainsi que leurs corrélations génétiques.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif animal

L'essai a porté sur un total de 321 poussins (mâles et femelles) issus de deux lignées divergentes sélectionnées depuis 15 générations sur le pH ultime de la viande, mesuré 24h après abattage dans le muscle pectoral. Cette sélection a été initiée en 2009 à partir d'une lignée grand-parentale de type femelle de poulet de chair standard (Alnahhas et al., 2014). Les œufs à couvrir ont été collectés à partir d'un total de 100 mères (51 pHu+ et 49 pHu-) âgées de 34-35 semaines (soit 3-4 semaines après le pic de ponte). Les animaux ont subi des conditions de démarrage perturbées avec 30 minutes de transport le jour de l'éclosion (J0) et le

lendemain (J1), une attente de 24H dans des boîtes de transport placées à 25°C, puis une mise en place et une alimentation retardées le lendemain de l'éclosion (à J1).

1.3. Mesures phénotypiques

Une évaluation visuelle de l'état physique et du comportement de l'animal a été réalisée à J0 (en sortie d'éclosoir), à J1 (après le transport et avant la mise en place dans la cellule d'élevage) puis après 7 jours d'élevage (J7), selon une grille de notation adaptée de la grille de Tona. A chaque âge, un total de douze indicateurs a été noté (en lien avec l'état général et l'activité, la présence de lésions, de signes de déshydratation ou d'inflammation, les risques d'infection), puis sommés pour obtenir un score total de qualité sur 110 (Scoretot). Les poids à J0, J1 et J7 ont été mesurés, permettant également de calculer la perte de poids entre J0 et J1 (PerteJ0J1, en % du poids à J0) ou le gain de poids entre J1 et J7 (GainJ1J7, en % du poids à J1). Des dosages plasmatiques ont été réalisés à J7 pour différents indicateurs liés aux statuts métabolique ou antioxydant du poussin (concentrations plasmatiques en glucose, triglycérides, acide urique, et capacité antioxydante totale (TAS)), ou à la présence d'inflammation (activité de type haptoglobine du plasma). A l'issue de la période d'élevage, à 42 jours, le poids à l'abattage, le rendement en filet ainsi que le pH ultime (pHu) de la viande ont également été mesurés.

1.3. Analyses statistiques et estimation des paramètres génétiques

L'effet de la sélection divergente pour le pH ultime sur les phénotypes mesurés à la 15^{ème} génération a été analysé grâce à une ANOVA intégrant les effets de la lignée (pHu+/pHu-), du sexe et de leur interaction. Les différences entre lignées sont basées sur la comparaison des LSMEANS. Les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance (REML : Restricted Maximum Likelihood) à l'aide du logiciel VCE6 (Groeneveld et al., 2010). Le modèle intégrait l'effet génétique animal et l'environnement commun maternel (pour les caractères mesurés entre J0 et J7). Concernant les effets fixes, le lot (recodé par génération et lignée) et le sexe ont été inclus, pour les caractères pour lesquels ils étaient pertinents. L'ensemble des données généalogiques disponibles depuis le début de la sélection ont été prises en compte dans l'analyse (soit 23512 animaux) ainsi que les données de pHu, pourcentage de filet et poids à 42 jours mesurées sur

les générations précédentes (voir Tableau 1 pour les effectifs).

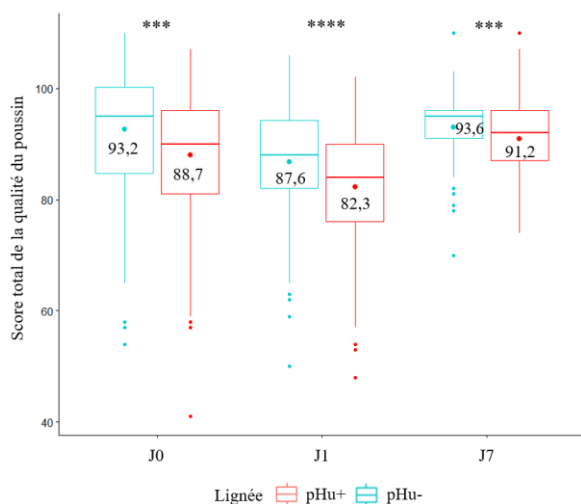
2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Impact de la sélection divergente pour le pH ultime sur la qualité du poussin.

Comme attendu, une forte différence de pH ultime est retrouvée à la 15^{ème} génération entre les deux lignées (6,23 pour la lignée pHu+, 5,59 pour la lignée pHu- ; $P<0.0001$). Chez le poulet, il existe une très forte corrélation génétique négative (-0,97) entre Potentiel Glycolytique et pH ultime du muscle du filet (Le Bihan-Duval et al., 2008), la lignée pHu+ se caractérisant donc par de plus faibles réserves en glycogène que la lignée pHu-.

Selon des travaux menés à la 8^{ème} génération de sélection, cette différence se met en place précocement, avec une diminution de 12% de la quantité de glycogène du muscle *Pectoralis major* chez les poussins pHu+ par rapport aux pHu- dès l'éclosion, et de 20% à 5 jours post-éclosion (Metayer-Coustard et al., 2021).

Figure 1 : Evolution du score total de qualité (Score_{tot}) entre J0, J1 et J7 dans les deux lignées. LSMEANS de l'effet lignée, * $P<0.05$; ** $P<0.01$; * $P<0.001$; **** $P<0.0001$.**



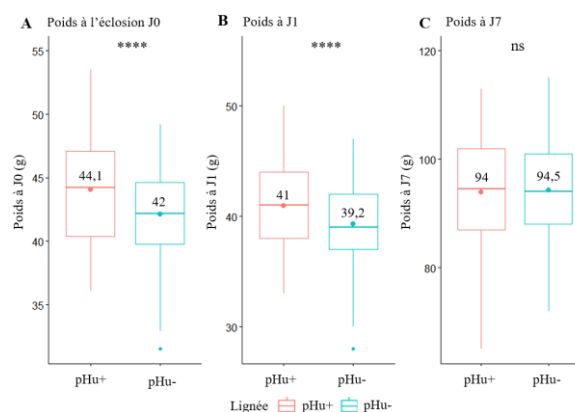
Comme illustré sur la **Figure 1**, cette différence de statut énergétique s'accompagne d'une différence du score visuel de qualité, moins élevé chez les poussins pHu+ que les pHu- sur toute la première semaine de vie. Comme attendu, la courbe de tendance pour les deux lignées va dans le sens d'une diminution du score de qualité entre J0 et J1, suite aux conditions de démarrage perturbées, puis d'une hausse entre J1 et J7, âge auquel on observe une meilleure homogénéité du

score de qualité. Notons qu'à l'éclosion, la différence de qualité entre pHu+ et pHu- est plus marquée chez les mâles (7,6 points) que chez les femelles (1,4 point), ces dernières subissant une chute plus importante du score de qualité entre J0 et J1 dans la lignée pHu+ que dans la lignée pHu- (-8,4 vs -5,2). Le gain de qualité entre J1 et J7 est par ailleurs plus important dans la lignée pHu+ que la lignée pHu- (+8,9 vs +6,0 ; $P=0.02$), la différence entre lignées apparaissant plus modérée à J7 qu'à J0 ou J1. Si l'éclosion apparaît donc comme un événement particulièrement coûteux en énergie chez les pHu+, dont la qualité est dégradée, ces animaux conservent une capacité de récupération entre J1 et J7.

Une faible mortalité a été observée durant la première semaine de vie (au total 11 animaux dont 9 pHu- et 2 pHu+).

En cohérence avec un poids d'œuf plus élevé, les poussins pHu+ ont un poids légèrement plus important à l'éclosion (+2g ; $P<0.0001$), ainsi qu'à J1 (**Figure 2**). Aucune différence de poids n'est retrouvée à J7, traduisant une plus faible croissance relative des poussins pHu+, de moindre qualité, que celle des poussins pHu- sur la première semaine (Gain_{J1J7} de 130% vs 142%, $P<0.0001$). Une différence de poids en faveur des animaux pHu- est retrouvée à l'abattage, à 42 jours (+100g, $P=0.0009$).

Figure 2 : Evolution du poids des poussins entre l'éclosion et J7 dans les deux lignées. LSMEANS de l'effet lignée, * $P<0.05$; ** $P<0.01$; * $P<0.001$; **** $P<0.0001$.**

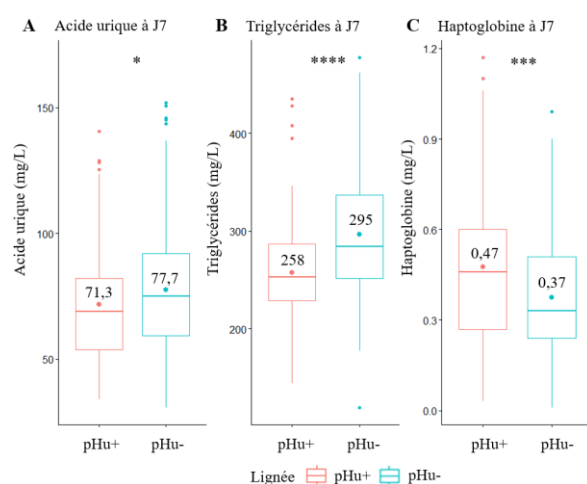


A J7, des différences de marqueurs plasmatiques sont également mises en évidence, avec :

- un taux d'acide urique 9% plus élevé ($P=0.04$) chez les poussins pHu-, suggérant une capacité anti-oxydante plus importante ou un catabolisme des protéines plus marqué pour accompagner la plus forte croissance de ces animaux pendant la première semaine de vie ;

- une teneur en triglycérides circulants 12,5% plus faible ($P<0.0001$) chez les animaux pHu+, liée peut-être à une moindre absorption depuis le vitellus ou à une plus forte utilisation des lipides à des fins énergétiques ;
- un taux d'haptoglobine 27% supérieur ($P=0.0009$) chez les poussins pHu+, potentiel marqueur d'un état inflammatoire.

Figure 3. Variation entre lignées d'indicateurs plasmatiques mesurés à J7. LSMEANS de l'effet lignée, * $P<0.05$; ** $P<0.01$; * $P<0.001$; **** $P<0.0001$.**



2.2. Paramètres génétiques au sein des lignées pHu

Alors que des différences de qualité entre des génotypes différents ont déjà été reportées, il n'existe pas à ce jour d'estimation de paramètres génétiques de ces indicateurs. Au sein des lignées pHu, bien que faible (0,14), l'héritabilité du score total de qualité du poussin apparaît plus significative à l'éclosion qu'à J1 ou J7, où l'impact des facteurs environnementaux est déterminant (Tableau 1).

Tableau 1. Effectif, héritabilité et part d'environnement commun maternel pour les différents indicateurs et biomarqueurs.

Phénotypes	N	h^2 ($\pm$ s.e)	Envcom
SCORETOTJ0	292	0,14 ($\pm$ 0,02)	0,08
SCORETOTJ1	292	0,11 ($\pm$ 0,02)	0,05
SCORETOTJ7	292	0,08 ($\pm$ 0,02)	0,07
POIDSJ0	292	0,41 ($\pm$ 0,02)	0,51
PERTEJ0J1	292	0,12 ($\pm$ 0,02)	0,19
GAINJ1J7	291	0,41 ($\pm$ 0,03)	0,26
ACIDE_URIQUE	264	0,31 ($\pm$ 0,03)	0,02
TAS	265	0,42 ($\pm$ 0,03)	0,02
GLUCOSE	263	0,07 ($\pm$ 0,01)	0,08
HAPTOGLOBINE	260	0,16 ($\pm$ 0,02)	0,02
TRIGLYCERIDES	262	0,10 ($\pm$ 0,02)	0,08
POIDSJ42	9911	0,39 ($\pm$ 0,02)	/
%FILET	6348	0,59 ($\pm$ 0,02)	/
PHUFILET	9547	0,53 ($\pm$ 0,02)	/

On observe pour les variables liées au poids ou variation relative de poids sur la première semaine (POIDSJ0, PERTEJ0J1, GAINJ1J7) des effets maternels importants (part de variance entre 19 et 51%), même si le niveau d'héritabilité reste élevé pour le poids à l'éclosion et le gain de poids entre J1 et J7 ($h^2=0,41$ dans les deux cas).

Concernant les indicateurs plasmatiques, leur niveau d'héritabilité varie et apparaît plutôt faible pour les taux de glucose, de triglycérides et l'haptoglobine ($<0,20$) mais plus élevé pour l'acide urique et la mesure du TAS, ces deux indicateurs des capacités anti-oxydantes présentant entre eux une forte corrélation génétique (+0,79). L'analyse des corrélations génétiques révèle des relations complexes entre notes d'état corporel, performances et indicateurs physiologiques. On observe notamment une corrélation génétique largement favorable (+0,70) entre le score de qualité à l'éclosion et la croissance relative entre J1 et J7, soulignant l'impact de l'état initial du poussin sur sa capacité à se développer dans les premiers jours. Le poids à l'éclosion influence l'état métabolique à 7 jours, avec une forte corrélation génétique positive avec la glycémie (+0,80) mais négative avec le taux de triglycérides circulants (-0,79). Acide urique et TAS présentent des corrélations génétiques positives avec la perte de poids entre J0 et J1 (rg de 0,70 et 0,49 respectivement), suggérant peut-être la mise en place d'une réponse contre le stress oxydant, en partie contrôlée par la génétique. Cette réponse semble également positivement corrélée avec la qualité du poussin à J7 (rg>0,40), avec des effets positifs à long terme sur le poids et le rendement en filet (rg de 0,40 et 0,61 entre ces deux derniers caractères et le score à J7).

CONCLUSION

Ces travaux suggèrent l'existence d'une base génétique de la qualité du poussin. Dans ces lignées génétiques, l'amenuisement des réserves énergétiques est associé à une dégradation de l'état corporel du poussin à l'éclosion et de sa capacité à croître dans les premiers jours de vie. A contrario la sélection génétique pour une augmentation de ces réserves a permis d'améliorer la robustesse du poussin. Des premiers résultats intéressants ont été obtenus sur l'héritabilité du score visuel de qualité ou de biomarqueurs de la capacité du poussin à mettre en œuvre des réponses biologiques contre le stress (notamment oxydant). Ils amènent à d'autres études pour préciser sur de plus larges effectifs et dans d'autres lignées le déterminisme génétique de ces différents indicateurs ou biomarqueurs et leur potentiel d'application pour une sélection de la qualité du poussin.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été conduite dans le cadre du projet Cas Dar RT Chick'Tip (n° 1727 - 2018/2021) et réalisée dans le cadre de l'UMT Biologie Intégrative Recherche et Développement (BIRD). Elle a bénéficié du soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de l'interprofession poulets de chair (CIPC)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Alnahhas N, Berri C, Boulay M, Baéza E, Jégo Y, Baumard Y, Chabault M, Le Bihan-Duval E. 2014. Journal of Animal Science, 92(9): 3816-3824.

Groeneveld E, Kovač M, Mielenz N. Institute of Farm Animal Genetics; Neustadt, Germany: 2010.

Le Bihan-Duval E, Debut M, Berri C M, Sellier N, Sante-Lhoutellier V, Jégo Y, Beaumont C, 2008. BMC Genetics, 9: 53.

Métayer-Coustard S, Tesseraud S, Praud C, Royer D, Bordeau T, Coudert E, Cailleau-Audouin E, Godet E, Delaveau J, Le Bihan-Duval E, Berri C. Front Physiol. 2021 Mar 4;12:643580. doi: 10.3389/fphys.2021.643580. PMID: 33746779; PMCID: PMC7969813.

Métayer-Coustard S, Bethuel J-C, Collin A, Le Bihan-Duval E, Puterflam J, Travel A. 14èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, 09 et 10 mars 2022, Tours, France.

Nariņš D, Aydemir E., 2021. World's Poultry Science Journal, 77:2, 313-329, DOI: 10.1080/00439339.2021.1892469

Tona K, Bamelis F, De Ketelaere B, Bruggeman V, Moraes VM, Buyse J, Onagbesan O, Decuypere E., 2003. Poult Sci. May;82(5):736-41. doi: 10.1093/ps/82.5.736. PMID: 1276239