

ACCLIMATATION DES VOLAILLES AU CHAUD ET AU FROID PENDANT L'INCUBATION

**Collin Anne¹, Bedrani Larbi¹, Loyau Thomas¹, Grasteau Sandrine¹,
Métayer-Coustard Sonia¹, Praud Christophe¹, De Basilio Vasco², Requena Rodon Fanny³,
Bastianelli Denis⁴, Duclos Michel J.¹, Tesseraud Sophie¹, Berri Cécile¹, Yahav Shlomo⁵**

¹*INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 NOUZILLY, FRANCE,*

²*Universidad Central de Venezuela, MARACAY, VENEZUELA,*

³*Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), MARACAY, VENEZUELA,*

⁴*CIRAD, MONTPELLIER, FRANCE*

⁵*ARO the Volcani Center, BET-DAGAN, ISRAEL*

Anne.Collin@tours.inra.fr

RESUME

Les volailles à croissance rapide sont sensibles à la chaleur en période de finition. En effet, leur sélection sur des critères de performance de croissance a favorisé la masse musculaire au détriment d'organes impliqués dans la thermorégulation, tels que les systèmes cardiovasculaire et respiratoire. Ceci peut se traduire par des baisses de performances en cas de chaleur modérée et chronique : les oiseaux diminuent leur production de chaleur en réduisant leur consommation d'aliment, ce qui allonge la durée d'élevage. Mais si la température ambiante d'élevage n'est pas contrôlée, un coup de chaleur aigu peut entraîner des mortalités et pose des problèmes de bien-être. A l'inverse, l'exposition au froid augmente la consommation d'aliment, diminue l'efficacité alimentaire des volailles et augmente la mortalité en élevage. Différentes stratégies génétiques, techniques ou alimentaires peuvent être mises en œuvre pour améliorer la tolérance des oiseaux à des variations de conditions thermiques. Durant la dernière décennie les efforts ont notamment porté sur l'acclimatation pendant la période périnatale. Cette acclimatation met en jeu des mécanismes de régulation épigénétiques qui modulent à long terme la température interne des volailles. A terme, si ces techniques se révélaient applicables à grande échelle, elles pourraient favoriser la robustesse et le bien-être des volailles face aux variations de températures, tout en préservant leurs performances zootechniques. Dans cette revue, nous rappellerons les principales techniques d'acclimatation embryonnaire et les fondements physiologiques de leur mise en œuvre. Nous évoquerons ensuite les voies de recherche concernant la compréhension des mécanismes mis en jeu et l'intérêt potentiel de ces techniques pour la filière avicole.

ABSTRACT

Embryo heat and cold acclimation in poultry

The selection of fast-growing chickens has favored muscle mass without similar improvement of the cardiovascular and respiratory systems involved in thermoregulation. On the one hand, broiler chickens have limited capacities to sustain high temperatures, with reduced performances during moderate to extreme and chronic heat exposure: feed intake and body weight gain decline, which delays slaughter age. In cases where ambient temperature is not controlled in poultry houses, acute heat exposure depresses welfare, inducing morbidity and mortality. On the other hand, cold exposure increases feed consumption, deteriorates feed efficiency, enhances physiological syndromes as ascites and decreases livability. Strategies involving genetic, technical or feeding techniques have been proposed to improve chicken thermotolerance. During the last decade a great effort concerned early thermal acclimation. This strategy is aimed at inducing epigenetic thermoregulatory mechanisms that modulate body temperature on a long term. If it is further proved to be efficient on a large scale, early thermal acclimation could favor poultry sturdiness towards temperature variations without affecting growth performance. In this paper, we will review the main techniques of early acclimation and the physiological bases of their use. It will be focused on the research axes concerning the comprehension of the underlying mechanisms and the interest of these techniques for poultry species.

INTRODUCTION

La production de volailles en régions chaudes (Nord du Brésil, Asie, Afrique du Nord...) s'est accrue ces dernières années, et les génotypes de poulets de chair utilisés y sont souvent les mêmes qu'en Europe et aux Etats-Unis. Dans ces régions, l'exposition à une chaleur modérée et chronique se traduit par des baisses de performances : les oiseaux diminuent leur production de chaleur en réduisant leur consommation d'aliment, ce qui allonge la durée d'élevage (Tesseraud et Temim, 1999). En Afrique du Nord ou en France, peuvent survenir, comme pendant l'été 2003, des coups de chaleur qui provoquent, en plus des baisses de performances, des mortalités importantes au coût économique élevé (44,5 millions d'euros en France ; Amand et al., 2004). Ils posent des problèmes en termes de bien-être des animaux, surtout en fin d'élevage quand les volailles sont les plus sensibles à la chaleur (Tesseraud et Temim, 1999). Au Venezuela, Lozano et al. (2006) attribuent 10% des mortalités en finition à des coups de chaleurs survenus pendant les deux dernières semaines de vie. 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; Havenstein et al., 2003). Ainsi, l'efficacité de certaines fonctions vitales comme la thermorégulation est altérée. A l'inverse, l'exposition au froid augmente la consommation d'aliment, diminue l'efficacité alimentaire des volailles et favorise les mortalités en élevage. Différentes stratégies génétiques (croisement avec des poulets sélectionnés pour un génotype thermotolérant), techniques (mise à jeun partielle, acclimatation...) ou alimentaires (alimentation alternée...) peuvent être mises en œuvre pour améliorer la tolérance des oiseaux à des variations de conditions thermiques. Un moyen pour améliorer la tolérance à la chaleur des poulets de chair sans nuire à leurs performances de croissance est l'acclimatation périnatale à la chaleur. Des études sont également conduites pour explorer l'acclimatation périnatale au froid. Ces techniques d'acclimatation dépendent de changements physiologiques et métaboliques rapides qui perdurent au long de la vie de l'animal.

1. TECHNIQUES D'ACCLIMATATION PRECOCE DES VOLAILLES DE CHAIR

Les travaux de thèse réalisés par De Basilio (2002) à l'Unité de Recherches Avicoles (INRA) et par Yahav et McMurtry (2001) montrent que

l'acclimatation postnatale de poussins de 3 ou 5 jours à la chaleur (24h à 37,5-38°C) limite l'élévation de la température interne des poulets de chair lors d'un coup de chaleur ultérieur (à 35 ou 42j) et peut diminuer la mortalité jusqu'à 50%. Il faut noter que la température interne pendant la croissance de l'animal constitue un bon indicateur de la thermorésistance future des animaux (De Basilio et al., 2003). En effet, suite à une acclimatation précoce des poussins, ceux-ci ont une température interne significativement réduite (De Basilio et Picard, 2002). Cette baisse de température semble être déterminante dans la résistance des poulets aux chocs thermiques ultérieurs.

L'acclimatation postnatale favorise également la croissance ultérieure des poulets (Halevy et al., 2001) et modifie la morphométrie intestinale (Temim et al., 2009). Enfin, De Basilio et al. (2001) ont étudié l'interaction entre l'acclimatation postnatale à la chaleur et le mode de distribution de l'aliment, en testant l'utilisation d'un aliment plus calorique le jour et d'un aliment plus riche en protéines la nuit en conditions de température cyclique. Ils ont ainsi montré que l'acclimatation et le programme d'alimentation séquentielle avaient un effet bénéfique sur la survie lors d'un coup de chaleur. Ceci s'accompagnait d'un léger effet positif sur la croissance pour l'acclimatation postnatale (+4%) mais un léger effet négatif (-4%) en ce qui concerne l'effet de l'alimentation séquentielle.

Si l'acclimatation postnatale paraît intéressante, elle reste relativement peu pratique à mettre en œuvre à grande échelle, puisque les éleveurs doivent connaître précisément l'âge des poussins et augmenter la température dans leur bâtiment à 38°C environ pendant 24h. Ils doivent également prendre en compte des variations d'efficacité liées à la source de chaleur et à l'éventuelle hétérogénéité de température d'acclimatation dans le bâtiment (De Basilio et al., 2003). Il semble donc qu'une acclimatation embryonnaire, réalisée directement dans l'incubateur par l'accouveur, soit une option plus applicable en aviculture.

1.1. Mise au point des techniques d'acclimatation embryonnaire à la chaleur

Cette technique présente l'avantage de 'mimer' les conditions naturelles de couvaie chez les oiseaux qui semblent être à l'origine de la meilleure adaptation des animaux aux variations climatiques (Piestun et al., 2008). Plusieurs études ont eu pour but de tester l'efficacité de différentes conditions

d'acclimatation embryonnaire en examinant leurs conséquences sur la thermotolérance du poulet, mais également sur la croissance, voire sur la qualité de la viande (Yahav et al., 2004a,b ; Collin et al., 2005, 2007). Ces études visaient à évaluer les périodes sensibles de l'embryogenèse pendant lesquelles les seuils de thermotolérance des poussins peuvent être manipulés, sans effets délétères sur l'éclosabilité, la croissance et la tolérance à un coup de chaleur. Plusieurs critères ont ainsi été considérés :

- *L'âge* : pour que l'acclimatation embryonnaire soit efficace, elle doit coïncider avec le moment où les mécanismes régissant la thermorégulation sont activés (Figure 1). Ces derniers sont régulés notamment par les axes hypothalamo-hypophyso-thyroïdien et hypothalamo-hypophyso-cortico-surrénalien (Yahav et Hurwitz, 1996; Yahav et Plavnik, 1999; Yahav et McMurry, 2001). Certains auteurs ont testé un traitement d'acclimatation avant le jour E10 de l'embryogenèse (Yahav et al., 2004a ; Collin et al., 2007 ; Piestun et al. 2008), pendant la phase de mise en place de l'axe corticotrope. D'autres auteurs ont choisi la période après E13 (Moraes et al., 2003 ; 2004 ; Yahav et al., 2004a ; Collin et al., 2005, 2007), précédant la phase de production significative d'hormones thyroïdiennes. Ces études menées sur des poulets à croissance rapide ont le plus souvent donné des résultats intéressants à court terme sur la croissance et la température interne (Tableau 1), mais qui n'étaient pas observés jusqu'en finition (Collin et al., 2007). De même, l'acclimatation appliquée à des poulets de souche ponte en fin d'embryogenèse a des effets sur la température interne restreints à 8 jours post-éclosion (Walstra et al., 2010). Les raisons de la non-persistance des effets du traitement dans ces conditions restent méconnues. On peut suggérer une interaction négative avec les mécanismes régulant la croissance des animaux lorsque le traitement est appliqué en fin d'embryogenèse (Collin et al., 2007). Les résultats récents de Piestun et al. (2008, 2009a) indiquent que la période de E7 à E16 de l'embryogenèse, englobant l'ensemble de la mise en place des axes de régulation thyroïdien et corticotrope est optimale pour améliorer la tolérance à la chaleur du poulet standard de souche Cobb.

- *La température* : La température d'acclimatation embryonnaire utilisée dans la plupart des expériences est de l'ordre de 39,5°C (vs. 37,8°C ; Moraes et al., 2003 ; 2004; Collin et al., 2007 ; Piestun et al. 2008). La température de 41°C semble être trop élevée pour maintenir une éclosabilité comparable aux témoins (Yahav et al., 2004a). Pour limiter la déshydratation des œufs pendant l'acclimatation à 39,5°C, l'humidité relative (HR) dans l'incubateur doit être élevée de 56% à 65% (Piestun et al., 2008).

- *La durée* : Le traitement d'acclimatation repose sur des alternances d'élévation de température et d'hygrométrie et de conditions « classiques » d'incubation (37,8°C, 56% HR ; Bruzual et al., 2000). L'exposition quotidienne la plus généralement testée est de 3h. Néanmoins, dans l'étude de Collin et al. (2005), des durées de 6, 12 et 24 h/j sont également testées, avec des effets comparables sur la température interne du poussin à court terme. Les résultats de Piestun et al. (2008) montrent qu'une acclimatation de 10 jours, avec des expositions journalières de 12 ou 24h, module à long terme la tolérance à la chaleur, avec toutefois une chute de l'éclosabilité à 50% lorsque l'exposition à 39,5°C est continue.

- *L'âge des reproducteurs* : Yalçin et al. (2005) montrent que l'utilisation de reproducteurs de 28 semaines réduit davantage la température interne des descendants acclimatés de E10 à E18, en phase de récupération d'un coup de chaleur, que l'utilisation de reproducteurs de 58 semaines. Il est conseillé d'utiliser des reproductrices de 34 à 44 semaines d'âge (premier pic de ponte) pour maximiser l'efficacité du traitement.

1.2. Effets à court et long termes de l'acclimatation embryonnaire à la chaleur

L'élaboration d'une technique efficace d'acclimatation des embryons passe obligatoirement par le choix de paramètres d'âge, de température et de période d'exposition ayant des effets bénéfiques à long terme sur la thermorésistance, sans pour autant altérer les performances du poulet (taux d'éclosion, croissance...). Le traitement consistant en une exposition de 3h/j à une température de 39,5°C entre les jours E16 et E18 de l'embryogenèse favorise la thermotolérance du poussin. Les traitements consistant en une exposition de 6 et 12h/j à la température de 39,5°C pendant cette période de l'embryogenèse tardive paraissent quant à eux stimuler la croissance initiale. La thermogénèse des embryons soumis à cette acclimatation est réduite comparativement aux embryons témoins (Tona et al., 2008) et ils conservent une température interne inférieure à celle des témoins pendant une vingtaine de jours post-éclosion (Figure 2). Cependant, ils s'avèrent plus sensibles que leurs témoins à un coup de chaleur à 42j (Collin et al., 2007). Notons que la qualité technologique du filet (pH ultime, exsudats) n'est alors pas altérée.

Piestun et al. (2008, 2009a) ont récemment validé des conditions optimales de traitement embryonnaire à la chaleur chez les poulets standards de souche Cobb 500 (39,5°C et 65% HR pendant 12 h/j de E7 à E16 de l'embryogenèse); ces conditions réduisent la température interne et améliorent la survie lors d'un

coup de chaleur tardif, tout en préservant l'éclosabilité et les performances de croissance. Cependant, il est important de valider, voire d'adapter, ces conditions chez d'autres génotypes pour limiter les mortalités pendant l'incubation et en élevage (Bedrani et al., 2009).

Enfin, l'acclimatation embryonnaire à la chaleur ne semble pas nuire aux performances zootechniques des poulets à l'âge d'abattage. Ainsi Collin et al. (2007) ne rapportent aucun changement, ni de l'indice de consommation, ni du poids vif des animaux à J28 et à J42. Yalçin et al. (2008) enregistrent même une augmentation transitoire du poids vif chez les poussins acclimatés à la chaleur entre les jours E10 et E18 de l'embryogenèse (6h/j à 38,5°C). Les poulets acclimatés en fin d'embryogenèse (Collin et al., 2007 ; Piestun et al., 2009b) tendent à avoir un poids de muscle pectoral plus important. Une hypothèse avancée est que ce traitement modifie le processus de différenciation des myoblastes et augmente le nombre de fibres du muscle *Pectoralis major* (Piestun et al., 2009b). Un tel mécanisme est également rapporté par Halevy et al. (2001), après acclimatation des poussins à J3 à la température de 37°C pendant 24h. A 42j d'élevage, ces auteurs rapportent que le poids du muscle pectoral est significativement augmenté.

1.3. Acclimatation embryonnaire au froid

En parallèle des études sur l'acclimatation précoce à la chaleur, la recherche d'animaux plus robustes a également favorisé le début de recherches sur l'acclimatation embryonnaire au froid. En conditions de basse température, les poulets à croissance rapide ont une capacité limitée à satisfaire leur besoin en oxygène ce qui favorise l'apparition d'ascites (Druyan et al., 2007). Plusieurs études ayant pour but de réduire la température d'incubation des œufs pendant une période continue et prolongée ont eu des conséquences négatives sur l'éclosabilité et induit des malformations (Black et Burggren, 2004; Mortola, 2006). En revanche, Shinder et al. (2009) ont récemment montré que de brèves expositions répétées à 15°C en fin d'embryogenèse (E18 à E19) n'affectaient pas l'éclosabilité et augmentaient la capacité du poulet à limiter la chute de température interne lors d'une exposition au froid à 3j ou 14j d'âge. Cette méthode peut améliorer le gain de poids à la thermoneutralité de 11% et limite l'occurrence d'ascites chez le poulet de chair exposé au froid en fin d'élevage.

2. MECANISMES IMPLIQUES DANS L'ACCLIMATATION EMBRYONNAIRE

Les mécanismes thermorégulateurs sous-jacents sont probablement de plusieurs types : ils pourraient

moduler, d'une part, les pertes de chaleur de l'animal (thermolyse) au niveau périphérique (répartition du flux sanguin par exemple) et, d'autre part, modifier la production de chaleur (thermogenèse) et le stress occasionnés par la contrainte thermique. L'acclimatation périnatale induirait une modification des seuils de réponse aux changements de température ambiante pendant la période embryonnaire ou postnatale, phases durant lesquelles le système thermorégulateur neuroendocrinien est plastique. Ceci contribuerait à la modification à long terme des seuils de réponse de l'animal qui répondrait plus rapidement aux changements environnementaux. L'acclimatation périnatale à la chaleur aurait pour conséquence une augmentation de la thermolyse et une diminution de la thermogenèse, et inversement l'acclimatation au froid limiterait les pertes de chaleur et augmenterait la thermogenèse (Tzschentke et Basta, 2002).

Cette thèse est accréditée par la diminution des concentrations plasmatiques en triiodothyronine T₃, hormone thyroïdienne qui régule la thermogenèse, observée dans nombre d'expériences d'acclimatation périnatale à la chaleur (Yahav et McMurry, 2001, Yahav et al., 2004b, Piestun et al., 2008). Dans les travaux récents de Piestun et al. (2009a), la consommation d'O₂ des œufs acclimatés en fin d'embryogenèse est plus faible que celle des œufs témoins (Figure 3). De plus, il semble que le pic de corticostérone induit par un coup de chaleur en fin d'élevage soit moins élevé quand les poussins ont été acclimatés au préalable (Yahav et al., 2004b). Dans ce modèle, nous montrons que l'expression de la protéine découplante avUCP, potentiellement impliquée dans la production de chaleur et la limitation du stress oxydant, est fortement diminuée (Taouis et al., 2002). Les conditions d'acclimatation embryonnaire à la chaleur efficaces sont d'ailleurs celles qui recouvrent la mise en place des axes thyroïdien et corticosurrénalien. Des recherches sont en cours pour identifier les gènes et enzymes cibles dont l'expression ou l'activité pourrait être impliquée dans la baisse de thermogenèse induite chez les poulets acclimatés (Bedrani et al., 2009).

Une partie des mécanismes mis en jeu est probablement expliquée par des modifications épigénétiques, c'est-à-dire des changements transmissibles de l'expression de gènes ou de phénotypes, ayant lieu sans altération de la séquence ADN. Ainsi l'acclimatation postnatale ou embryonnaire à la chaleur pourrait modifier à long terme la structure de la chromatine et/ou la méthylation de zones de l'ADN impliquées dans la régulation de gènes importants pour la thermorégulation. Ceci est suggéré par les travaux de

Kisliouk et al. (2009, 2010) et Yossifoff et al. (2008). L'étude des différences interindividuelles dans la capacité des embryons à mettre en place les mécanismes d'acclimatation à la chaleur, notamment en lien avec l'ascendance des poulets, est actuellement en cours.

CONCLUSION

Les techniques d'acclimatation embryonnaire à la chaleur et au froid semblent prometteuses pour la filière avicole. Elles nécessitent de contrôler finement les variations de températures et d'hygrométrie dans les incubateurs et d'adapter ces conditions en fonction des génotypes utilisés. A terme, si ces techniques se révélaient applicables à grande échelle, elles pourraient favoriser la robustesse et le bien-être des volailles face aux variations de températures, tout en préservant leurs performances zootechniques. Pour le moment, les techniques d'acclimatation embryonnaire ont été optimisées, chez le poulet de chair uniquement, par la réponse des animaux en cas d'exposition aiguë à la chaleur. Cependant, leur

réponse, et celle d'autres génotypes tels que les poules pondeuses, reste à déterminer en cas d'exposition plus chronique ou de vague de chaleur. Ces techniques offrent aussi des perspectives pour réduire le coût énergétique lié au chauffage (acclimatation au froid) ou à la climatisation (acclimatation au chaud) des bâtiments d'élevage. Ces réductions potentielles de coût doivent maintenant être évaluées au moyen d'une analyse économique, notamment en fonction de la région d'élevage. Enfin, ces techniques représentent un excellent modèle pour l'étude des mécanismes thermorégulateurs et de leur interaction avec la croissance et la composition corporelle chez l'oiseau.

REMERCIEMENTS

Une partie de ce travail a été réalisée avec le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche, projet « Jeunes Chercheuses et Jeunes Chercheurs », ANR-09-JCJC-0015-01, THERMOCHICK.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amand G., Aubert C., Bourdette C., Bouvarel I., Chevalier D., Dusantier A., Franck Y., Guillou M., Hassouna M., Le Biavan R., Mahé F., Prigent J.P., Robin P., 2004. *Sci. Tech. Avi. Hors-série*, Mai 2004.
- Bedrani L., Berri C., Grasteau S., Jégo Y., Yahav S., Everaert N., Jjali M., Joubert R., Métayer Coustard S., Praud C., Temim S., Tesseraud S., Collin A., 2009. *Proc. 4th Workshop Fund. Physiol. Perinat. Dev. Poult.* Sept. 10-12, 2009. Bratislava, Slovak Republic. p 10.
- Black J. L., Burggren W. W., 2004. *J. Exp. Biol.*, 207, 1543-1552.
- Bruzual J.J., Peak S.D., Brake J., Peebles E.D., 2000. *Poultry Sci.*, 79, 827-830.
- Collin A., Berri C., Tesseraud S., Requena Rodon F., Cassy S., Crochet S., Duclos M. J., Rideau N., Tona K., Buyse J., Bruggeman V., Decuyper E., Picard M., Yahav S., 2007. *Poult. Sci.*, 86, 795-800.
- Collin A., Picard M., Yahav S., 2005. *Anim. Res.*, 54(2), 105-112.
- De Basilio V., 2002. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- De Basilio V., Picard M., 2002. *INRA Prod. Anim.* 15, 235-245.
- De Basilio V., Requena F., León A., Vilariño M., Picard M., 2003. *Poult. Sci.*, 82(8), 1235-41.
- De Basilio V., Vilariño M., Yahav S., Picard M., 2001. *Poult. Sci.*, 80(1), 29-36.
- Druryan S., Shlosberg A., Cahaner A., 2007. *Poult. Sci.*, 86, 621-629.
- Halevy O., Krispin A., Leshem Y., McMurtry J.P., Yahav S., 2001. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 281(1), R302-9.
- Havenstein G.B., Ferket P.R., Qureshi M.A., 2003. *Poult. Sci.*, 82(10), 1509-18.
- Kisliouk T., Meiri N., 2009. *Eur. J. Neurosci.*, 30(10), 1909-22.
- Kisliouk T., Ziv M., Meiri N., 2010. *Dev. Neurobiol.*, 70(2), 100-13.
- Lozano C., De Basilio V., Oliveros I., Alvarez R., Colina I., Bastianelli D., Yahav S., Picard M., 2006. *Anim. Res.*, 55 : 71-76.
- Moraes V.M.B.; Malheiros R.D.; Bruggeman V.; Collin A.; Tona K.; Van As P.; Onagbesan O.M.; Buyse J.; Decuyper E.; Macari M., 2003. *J. Therm. Biol.*, 28, 133-140.
- Moraes V.M.B., Malheiros R.D., Bruggeman V., Collin A., Tona K., Van As P., Onagbesan O.M., Buyse J., Decuyper E., Macari M., 2004. *J. Therm. Biol.*, 29, 55 - 61.
- Mortola J. P., 2006. *Comp. Biochem. Physiol.*, 145A, 441-448.
- Piestun Y., Halevy O., Yahav S., 2009a. *Poult. Sci.*, 88(12), 2677-88.
- Piestun Y., Harel M., Barak M., Yahav S., Halevy O., 2009b. *J Appl Physiol.*, 106(1), 233-40.
- Piestun Y., Shinder D., Ruzal M., Halevy O., Brake J., Yahav S., 2008. *Poult. Sci.*, 87(8), 1516-25.

Shinder D., Rusal M., Giloh M., Yahav S., 2009. *Poult. Sci.*, 88(3), 636-46.
 Taouis M., De Basilio V., Mignon-Grasteau S., Crochet S., Bouchot C., Bigot K., Collin A., Picard M., 2002. *Poult. Sci.*, 81(11), 1640-1643.
 Temim S., Bedrani L., Ain Baziz H., Ghaoui H., Boudina H., Adjou K., Collin A., Tesseraud S., 2009. *Eur. J. Sci. Res.*, 38(1), 110-118.
 Tesseraud S., Temim S., 1999. *INRA Prod. Anim.*, 12 (5), 353-363.
 Tona K., Onagbesan O., Bruggeman V., Collin A., Berri C., Duclos M., Tesseraud S., Buyse J., Decuypere E., Yahav S., 2008. *Archiv Geflügel.*, 72(2), S.75-83.
 Tzschentke B, Basta D., 2002, *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, 131(4), 825-32.
 Walstra I., ten Napel J., Kemp B., van den Brand H., 2010. *Poult. Sci.*, 89, 1502-1508.
 Yahav S., Collin A., Shinder D., Picard M., 2004a. *Poult. Sci.*, 83, 1959-1963.
 Yahav S., Hurwitz S., 1996. *Poult. Sci.*, 75, 402-406.
 Yahav S., McMurtry J.P., 2001. *Poult. Sci.*, 80(12), 1662-1666.
 Yahav S., Plavnik I., 1999. *Br. Poult. Sci.*, 40, 120-126.
 Yahav, S., R. Sasson-Rath, and D. Shinder. 2004b. *J. Therm. Biol.* 29:245-250.
 Yalçin S, Cabuk M, Bruggeman V, Babacanoglu E, Buyse J, Decuypere E, Siegel PB., 2008. *Poult Sci.*, 87(12), 2671-7.
 Yalçin S., Özkan S., Çabuk M., Buyse J., Decuypere E., Siegel P.B., 2005. *Poult. Sci.*, 84, 967-976.
 Yossifoff M., Kislouk T., Meiri N., 2008. *Eur. J. Neurosci.*, 28(11), 2267-77.

Figure 1. Mise en place des mécanismes thermorégulateurs au cours de l’embryogenèse du poulet

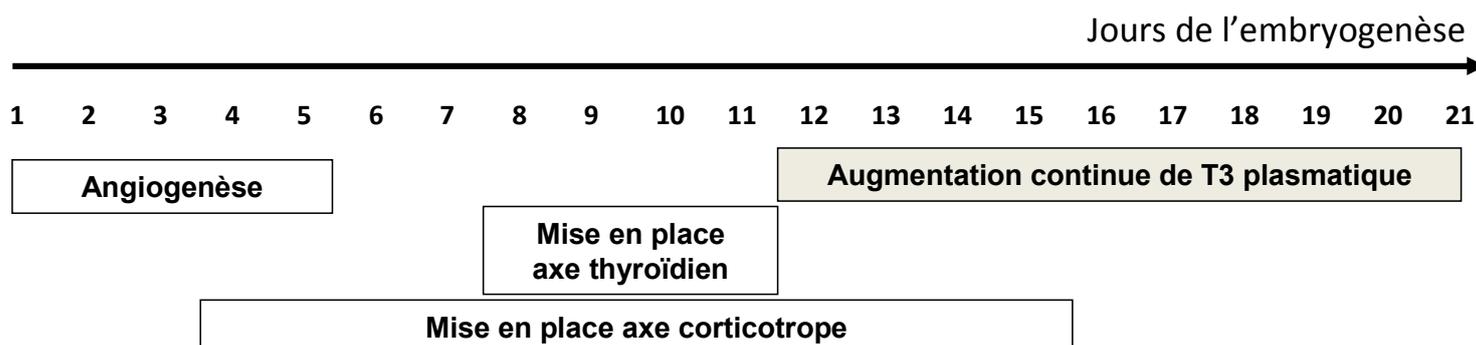


Tableau 1. Effets d’une acclimatation de 3h/j à 39.5°C des jours de 16 à 18 de l’embryogenèse sur l’éclosabilité, le poids vif, la température interne (Ti) à l’éclosion dans deux expériences sur poulets standard de souche Ross (Yahav et al., 2004 ; Collin et al., 2007). Dans l’expérience 1, les poussins ont été soumis à un coup de chaleur à 3 jours post-éclosion (j3) ; a, b ; A, B : des lettres différentes sont associées aux valeurs significativement différentes dans chaque expérience (p < 0.05).

	A- Expérience 1		B- Expérience 2	
	Témoins	Acclimatés	Témoins	Acclimatés
Eclosabilité (%)	87,8	82,7	88,2b	92,0a
Poids Vif (g)	45,5	45,5	47,2	47,2
Ti éclosion (°C)	36,9a	36,3b	38,2A	37,9B
Ti coup de chaleur j3 (°C)	42,6a	41,9b		

Figure 2. Effets d'une acclimation de 3h/j à 39.5°C des jours 16 à 18 de l'embryogenèse sur la température interne des poulets stttannndard de souche Ross de 14 à 42 jours (Collin et al., 2007)

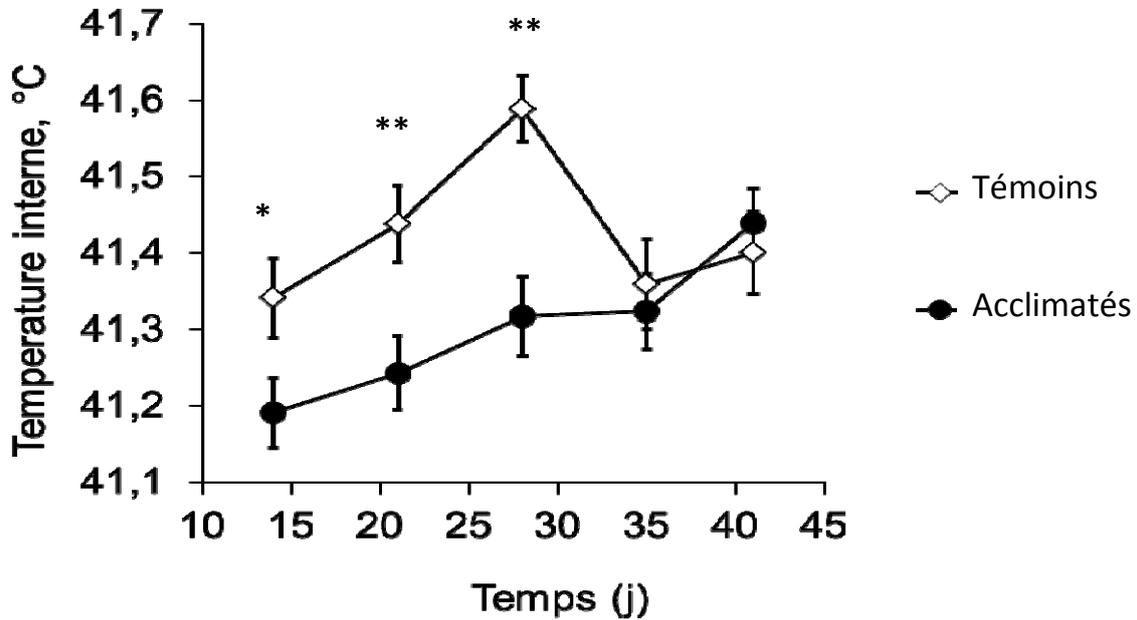


Figure 3. Effet d'une acclimation de 12 ou 24h/j à 39.5°C ET 65% d'hygrométrie des jours 7 à 169 de l'embryogenèse sur la consommation d'oxygène de poulets standard de souche Cobb au jour 18 de l'embryogenèse et à l'éclosion (bêchage externe ; d'après Piestun et al., 2009). A, Bet a, b, c : des lettres différentes sont associées aux valeurs statistiquement différentes ($p < 0.05$)

