

الشعبية الديمقراطية الجمهورية الجزائرية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة – الجزائر الحراش
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE VETERINAIRE - EL HARRACH – ALGER

Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme de

Magistère en Sciences Vétérinaires

Option : Elevages, Pathologies et Industrie des Animaux de
Basse-cour

**Impact de l'association de l'acclimatation précoce et de la
complémentation alimentaire en vitamine C sur
les paramètres zootechniques et physiologiques
du poulet de chair élevé en conditions estivales Algériennes**

Présenté Par :

Dr. Nassim OUAGUENI

Devant le Jury :

Président :	Pr. H. AINBAZIZ	Professeur	ENSV Alger
Promoteur :	Pr. S. TEMIM	Professeur	ENSV Alger
Examineur :	Pr. D. KHELEF	Professeur	ENSV Alger
Examineur :	Dr N. CHORFI	Maitre de conférences A	ENSV Alger
Examineur :	Dr Z. BERRAMA	Maitre assistante A	ENSV Alger

Année Universitaire : 2009/ 2010

REMERCIEMENTS

L'étude expérimentale a été réalisée au niveau de la station des monogastriques de l'institut technique des élevages de Baba Ali, Alger. Je tiens à remercier Mr BOUDJENAH Hakim, pour nous avoir ouvert les portes et mis à notre disposition tout ce dont nous avons besoins.

Je remercie,

Mlle Ain Baziz pour son aide et ses précieux conseils, ainsi que d'avoir accepté de présider le jury.

Mr Khelef, Mme Chrofi et Mme Berrama d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à Mme S.TEMIM pour l'encadrement, le partage de son savoir-faire et surtout pour avoir été à la hauteur de cette tâche.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à tout le personnel de l'ITELV.

Dédicace

A mes parents,

Sans qui tout cela n'aurait pas eu lieu. Merci de m'avoir soutenu, de m'avoir mis sur les rails de la réussite, et de ne m'avoir jamais laissé tomber, j'espère vous rendre fiers aujourd'hui et vous témoigne ma profonde gratitude.

A ma sœur Yasmina et son mari Salim, mon petit frère Kamel, à Lyes et Fethi pour m'avoir toujours encouragé.

A ma promotrice Mme TEMIM, sans qui tout cela ne serait pas possible, à maintes reprise j'ai frôlé l'abandon, mais vous avez toujours cru en moi, su me remotiver, c'est un honneur de travailler avec vous.

A Melle AIN BAZIZ qui ne ménage jamais ses efforts, quand la température estival aurait découragé plus d'un.

« Ne changez pas, ceux qui vous jugent ne comptent pas, et ceux qui comptent ne vous jugeront pas. »

Nous avons évalué l'impact de l'acclimatation précoce (exposition des poussins au 5ème jour d'âge à une température de 38°C pendant 24h) associée à une supplémentation alimentaire en vitamine C (acide ascorbique : 400ppm) sur les performances zootechniques et quelques paramètres physiologiques de poulets de chair mâles élevés en conditions estivales Algériennes.

Au total, 110 poulets mâles âgés de 28 jours ont été répartis en 4 lots (5 répétitions de 22 sujets) : un lot témoin (T) non acclimaté et nourri avec un aliment standard adapté à l'âge, un lot (A) acclimaté à J5 et nourri avec l'aliment standard, un lot (VC) non acclimaté et nourris à partir de J28 avec le même aliment standard mais supplémenté en vitamine C et un lot (AVC) acclimaté à J5 et supplémenté en vitamine C à partir de J28. Entre le 28ème et le 49ème jour, d'âge, les 4 lots ont été exposés aux fluctuations naturelles de la température ambiante (Ta) estivale (29°C en moyenne ; hygrométrie relative moyenne de 59% : conditions de stress thermique chronique). A l'âge de 50 j, un coup de chaleur a été provoqué en exposant l'ensemble des poulets à une Ta de 35°C pendant 6 heures (stress thermique aigu).

Dans nos conditions de stress thermique chronique, l'acclimatation précoce, seule ou associée à l'addition de vitamine C dans l'aliment, n'a pas eu d'effet significatif sur les performances de croissance, la survie ou les caractéristiques de la carcasse des poulets, mise à part une réduction significative de la proportion du gras abdominal (-29%, $p < 0,001$). En revanche, dans ces conditions, la supplémentation en vitamine C (seule), semble améliorer la croissance globale (+6%, $p = 0,09$) et l'indice de conversion alimentaire cumulé (-4%, $p = 0,25$). Par ailleurs, aucun effet significatif de l'acclimatation précoce, avec ou sans supplémentation alimentaire en vitamine C, n'a été relevé sur les températures rectales ou sur les poids des organes lymphoïdes (rate, thymus et bourse de Fabricius) ou les paramètres hématologiques (hématocrite, hémoglobiniémie et nombre de globules rouges). Toutefois, lors de l'application d'un stress thermique aigu en fin d'élevage, la mortalité des poulets a été nettement réduite grâce à l'acclimatation précoce appliquée seule (-89%, $p < 0,001$) ou en association avec la supplémentation en vitamine C (-59%, $p < 0,05$).

En conclusion, l'association de ces deux traitements n'a pas eu l'effet positif escompté sur les performances de croissance des poulets exposés de manière chronique au stress thermique mais demeure intéressante pour limiter les mortalités induites par les coups de chaleur.

Mots clés : Stress thermique, Acclimatation précoce, chaleur ambiante, vitamine C, acide ascorbique, poulet de chair, performances zootechniques, rendement de carcasse, paramètres sanguins, température rectale.

We evaluated the impact of early thermal conditioning (exposure of chicks a 5 days of age at a temperature of 38 °C for 24 hours) associated with dietary supplementation with vitamin C (Ascorbic acid: 400ppm) on the zootechnical performances and some physiological parameters of male broiler chickens reared under Algerian summer conditions, between 28 and 49 days of old.

A total of 110 males broiler chickens of 28 days-old were divided into 4 groups (5 replicates of 22 subjects each): in the control group (T) birds were non-acclimated and fed a standard diet adapted to the age, in the group (A) birds were acclimated at 5-d-old and fed a standard diet, in the group (VC) they were non-acclimated and fed from 28-d-old with standard diet supplemented with vitamin C ; in the AVC group, chickens were acclimated 5-d-old and supplemented with vitamin C 28-d-old. In our conditions of chronic heat stress, early thermal conditioning, alone or associated to the dietary addition of vitamin C had no significant effect on growth performance, survival, or carcasses characteristics of the chicken, except for a significant reduction in the proportion of abdominal fat (-29%, $p < 0.001$).

In contrast, in these conditions, dietary supplementation with vitamin C (alone), seemed to improve overall growth (+6%, $p=0.09$) and the cumulative feed conversion ratio (-4%, $p=0.25$). Furthermore, no significant effect of early thermal acclimatization, alone or associated to the dietary supplementation with vitamin C, was found on the rectal temperature or the weight of lymphoid organs (spleen, thymus and bursa of Fabricius) nor haematological parameters (hematocrit, hemoglobin and red blood cell count). However, after a thermal challenge at 50d-old, the mortality rate was significantly reduced by early thermal acclimatization, applied alone (-89%, $p < 0.001$) or in combination with the dietary supplementation with vitamin C (-59%, $p < 0.05$).

In conclusion, the combination of these two treatments did not have the expected positive effect on growth performance of broilers chronically exposed to heat stress, but remains interesting to limit mortality caused by an acute heat stress.

Key-words: Early thermal conditioning, Heat stress, ambient heat, vitamin C, ascorbic acid, broiler growth performance, carcass yield, blood parameters, rectal temperature.

الهدف من هذه التجربة هو تقييم تأثير التأقلم المبكر (في اليوم الخامس من العمر لدرجة حرارة تقدر ب 38 درجة مئوية لمدة 24 ساعة) مشترك مع مكمل غذائي: فيتامين سي (حمض الأسكوربيك: 400 جزء في المليون) على أداء تربية حيوانات من الفراريج تتعرض لتقلبات طبيعية في حرارة الصيف ما بين 28 و 49 يوما من العمر.

تم تقسيم مجموعه 110 فروج (ذكور)، الذين تتراوح أعمارهم بين 28 يوما، إلى 4 مجموعات (حيث تتكون كل واحدة من 5 تكرارات من 22 فروج): قسمة "الشاهد" غير متأقلم و يتحصل على غذاء عادي، قسمة "المتأقلم" في اليوم الخامس و يتحصل على غذاء عادي، قسمة "الفيتامين سي" غير متأقلم و يتحصل على غذاء ممزوج مع الفيتامين سي، قسمة "الفيتامين سي المتأقلم" في اليوم الخامس و يتحصل على غذاء ممزوج مع الفيتامين سي. ما بين يوم 28 و 49 تعرضت الأقسمة الأربعة الى التغيرات الجوية (29° مئوية)، في اليوم 50 تعرض الدجاج لدرجة حرارة معدلها 37° مئوية لمدة 6 ساعات

في ظروف الإجهاد الحراري المزمن، التأقلم المبكر، وحدها أو مقترنة بإضافة فيتامين سي في الغذاء، لا تؤثر إلى حد كبير على أداء النمو، والبقاء على قيد الحياة، أو الخصائص ذبيحة الدجاج، وبصرف النظر عن انخفاض كبير في نسبة الدهون في منطقة البطن (-29%، $p > 0.001$). من ناحية أخرى، في هذه الظروف، والتغذية التكميلية بفيتامين سي (لوحدها)، وعلاوة على ذلك، ($p = 0.25$ ، يبدو أن تحسين النمو الإجمالي (+6%، $p = 0.09$) وتغذية مؤشر التحويل (-4) لوحظت أي تأثير كبير ليتأقلم المبكر، مع أو بدون مكملات فيتامين سي) الغذاء، لا في درجات حرارة المستقيم أو أوزان الأجهزة للمفاوية (الطحال والغدة الصعترية وبورصة فبريسوس) أو معلمات الدم (الهيماتوكريت، هيموغلوبينيا، وعدد من خلايا الدم الحمراء). ومع ذلك، عند تطبيق الإجهاد الحراري الحاد في النهاية تربية، وفيات الدجاج قد خفضت إلى حد كبير بفضل تأقلم أحد أوائل التطبيقية (89%، $p > 0.001$)، أو في تركيبة مع مكملات فيتامين سي (59%، $p > 0.05$)

وفي الختام، رابطة هذه العلاجات اثنين لم يكن الأثر الإيجابي المتوقع على أداء النمو الفراريج مزمّن يتعرضون للإجهاد الحراري، لكنها لا تزال مثيرة للاهتمام للحد من الوفيات الناجمة عن السكتة الدماغية الحرارة.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد الحراري، تأقلم المبكر، الحرارة المحيطة، فيتامين سي، حمض الأسكوربيك، الفراريج، تقنيات العناية بالحيوان والأداء، الذبيحة، معلمات الدم، درجة حرارة.

Figure 1. La thermorégulation chez les oiseaux	4
Figure 2. Principales voies de thermolyse chez le poulet	5
Figure 3. Représentation schématique des relations entre thermogénèse, thermolyse et Ta.	6
Figure 4. Répartition de la chaleur au niveau périphérique chez un poulet exposé à 35°C.	7
Figure 5. Schéma récapitulatif du protocole expérimental.	
Figure 6. Bâtiment d'élevage, vue extérieure.	27
Figure 7. Bâtiment d'élevage, vue intérieure.	28
Figure 8. Bâtiment d'élevage, ayant servi au choc thermique à J5, vue extérieure.	28
Figure 9. Bâtiment d'élevage, ayant servi au choc thermique à J5, vue intérieure.	28
Figure 10. Evolution de la Ta durant les 24 h du traitement d'acclimatation précoce.	29
Figure 11. Prise de la température rectale.	31
Figure 12. Analyseur automatique utilisé pour la mesure des paramètres sanguins.	34
Figure 13. Evolution de la température ambiante (°C) à l'intérieur du bâtiment d'élevage entre J1 et J49.	35
Figure 14. Evolution de la température au niveau de l'aire de vie (°C) à l'intérieur du bâtiment d'élevage entre J1 et J49.	37
Figure 15. Evolution de l'hygrométrie relative (%) à l'intérieur du bâtiment d'élevage durant l'expérimentation (J1-J49).	37
Figure 16. Evolution des poids vifs (a) et des gains de poids (b) des poulets mâles élevés au chaud.	40
Figure 17. Evolution de l'ingéré (a) et de l'indice de conversion (b) alimentaires des poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=5 parquets de 22 mâles).	43
Figure 18. Représentation graphique de la mortalité durant l'essai (a) ou suite au stress thermique aigu provoqué à J50 (b) des poulets mâles élevés au chaud.	46
Figure 19. Représentation graphique des poids de la carcasse prête à cuire (a), du foie, du cœur, du gras abdominal et du gésier vide (b), en proportion du poids vif, chez les poulets mâles élevés au chaud.	48
Figure 20. Représentation graphique des poids des organes lymphoïdes (g/100g du PV) chez les poulets mâles élevés au chaud.	50
Figure 21. Représentation graphique des paramètres hématologiques mesurés à l'âge de 49j chez des poulets mâles élevés au chaud.	52
Figure 22. Evolution de la température rectale, mesurée à l'âge de 36, 42 et 49j chez des poulets mâles élevés au chaud.	55

Tableau 1. Effet de la température ambiante (Ta) sur les performances des poulets	10
Tableau 2. Variation de la quantité d'eau consommée par poule (souche Arbor Acres) selon la température ambiante.	11
Tableau 3. Effet du moment du traitement de l'acclimatation précoce (AP) sur quelques paramètres zootechniques du poulet âgé de 42j.	16
Tableau 4. Synthèse de différentes études, relevant l'effet de la réduction de mortalité lors d'une exposition précoce à un stress thermique.	18
Tableau 5. Effet de l'addition de la vitamine C sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées.	23
Tableau 6. Effet de l'addition de la vitamine C sur le nombre des hétérophiles, des lymphocytes et le rapport H/L du poulet exposé à des températures élevées.	24
Tableau 7. Importance de la supplémentation en vitamine C durant un stress thermique.	25
Tableau 8. Composition et caractéristiques des aliments utilisés durant l'essai (%).	30
Tableau 9. Programme prophylactique appliqué durant l'essai.	32
Tableau 10. Valeur moyennes, minimales (Min) et maximales (Max) de la température ambiante et de l'aire de vie (°C) et de l'hygrométrie relative (%), enregistrées durant l'essai.	36
Tableau 11. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les poids vifs et les gains de.	39
Tableau 12. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur l'ingéré et l'indice de conversion alimentaires.	42
Tableau 13. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les taux de mortalité relevés durant l'essai.	45
Tableau 14. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les caractéristiques de la carcasse, mesurées à l'âge de 51j.	47
Tableau 15. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur le poids des organes lymphoïdes prélevés à l'âge de 49j.	50
Tableau 16. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les paramètres hématologiques mesurés, à l'âge de 49j.	51
Tableau 17. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur la température rectale mesurée à l'âge de 36, 42 et 49j.	54

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------	----------

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Impact de la chaleur ambiante sur la physiologie du poulet

I.1. La thermorégulation chez le poulet	4
I.1.1. Homéothermie : Rappels généraux	4
I.1.2. Zone de neutralité thermique	6
I.2. Conséquences de l'exposition à la chaleur chez le poulet	7
I.2.1. Augmentation de la thermolyse et diminution de la thermogénèse	7
I. 2. 2. Réduction de l'ingéré alimentaire et ralentissement de la croissance	9
I.2.3. Augmentation de la consommation hydrique	11
I.2.4. Impact sur l'utilisation digestive	11
I.2.5. Impact sur l'équilibre acido-basique	12
I.2.6. Impact sur l'immunité	13
I.2.7. Impact sur la mortalité	13
I.2.8. Impact sur le poids de la carcasse	13
II. Acclimatation précoce : modalités et impact chez le poulet	
II.1. Acclimatation : définitions et modalités pratiques	14
II.1.1. Définitions : acclimatation et acclimatement	14
II.2. Technique d'acclimatation précoce	15
II. 2. 1. Principe général	15
II.2.2. Caractéristiques de la première exposition	15
II.2.3. Caractéristiques de la 2ème exposition	17
II. 2.4. Acclimatation des embryons	17
II.3 Impacts de l'acclimatation précoce	18
II.3.1. La mortalité	18
II.3.2. Impact sur l'ingéré, la croissance et l'indice de consommation	19
II.3.3. Impact sur la consommation d'eau	19
II.3.4. Impact sur la température corporelle	19
II.3.5. Impact sur les paramètres sanguins	19
II.3.6. Autres effets de l'acclimatation précoce	20

Chapitre II : Apport de vitamine C au chaud

III. 1. Généralités sur la vitamine C	21
III. 2. Les fonctions métaboliques de la vitamine C	21
III. 3. Effet de l'acide ascorbique sur les performances de croissance	22

MATERIELS ET METHODES

I. L'objectif	26
II. Lieu, durée et période de l'essai	26
III. Animaux	26
IV. Bâtiment	27
V. Equipement d'élevage	29
V.1. Matériels d'alimentation	29
V.2. Matériels d'abreuvement	29
V.3. Matériels de chauffage	29
V.4. La litière	30
VI. Aliment	30
VII. Températures d'élevage et modalités de l'acclimatation précoce	31
VIII. Programme sanitaire d'élevage	32
IX. Mesures réalisées	32
IX.1. Relevé de température et d'humidité	32
IX.2. Les performances zootechniques	33
IX.2.1. Ingéré alimentaire	33
IX.2.2. Poids vif et gain de poids	33
IX.2.3. Indice de conversion	33
IX.2.4. Mortalité	33
IX.3. Le rendement de carcasse	33
IX.4. Morphométrie des Organes lymphoïdes à rajouter	34
IX.5. Mesure de la température corporelle	34
IX.6. Mesure des Paramètres hématologiques et biochimiques	35
X. Etude statistique	35

RESULTATS

I. Paramètres d'ambiance	36
II. Performances de croissance	38
II.1. Poids vif et gain de poids	38
II.2. Ingéré alimentaire et indice de conversion	41
III. La mortalité	44
IV. Le rendement de la carcasse	47
V. Poids des organes lymphoïdes	49
VI. Paramètres hématologiques	51
VII. La température rectale	53

DISCUSSION GENERALE

Discussion générale	56
----------------------------	-----------

CONCLUSION

Conclusion générale	64
----------------------------	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques	65
------------------------------------	-----------

La production avicole en Algérie est mise en difficulté par plusieurs contraintes, principalement en période estivale où les pertes économiques sont le résultat d'un ralentissement de la croissance et d'un accroissement des mortalités.

Ainsi, les fortes chaleurs estivales que connaît l'Algérie, même au niveau des régions côtières, entraînent des pertes considérables pour la filière avicole, soit par un taux de mortalité élevé, soit par mise à l'arrêt des élevages pendant cette période.

En effet, une température ambiante élevée provoque chez le poulet un stress thermique. Ce dernier correspond à la manifestation de diverses réactions chez l'animal pour faire face à l'augmentation de température ambiante, qui provoque inévitablement une augmentation de la température corporelle, souvent fatale pour le poulet.

Il existe deux types de stress thermique, l'un est dit aigu, l'autre chronique. La durée et l'amplitude du pic de chaleur étant les deux paramètres qui déterminent le type de stress thermique.

Le stress thermique aigu, qualifié aussi de coup de chaleur, apparaît lorsque la température ambiante dépasse les 35°C pendant une courte durée. Ce type de stress induit des réactions immédiates et radicales qui convergent vers un seul objectif : la survie de l'animal. Ce type de stress thermique provoque une forte mortalité dans les élevages.

Le stress thermique chronique, apparaît lors d'exposition à des températures ambiantes élevées, généralement de nature cyclique (entre 29 et 35°C pendant le jour, températures ambiantes plus fraîches durant la nuit) et s'étalant sur des périodes relativement longues, allant de quelques jours à plusieurs semaines. Les changements provoqués par ce type d'exposition sont relativement faibles jusqu'à atteindre un nouvel équilibre (homéostasie) qui permet à l'animal de s'adapter à son nouvel environnement : on parle alors d'acclimatation. Dans ce type d'exposition, la mortalité n'est que très légèrement augmentée alors que les performances de croissance sont largement affectées.

Les stratégies mises en place pour réduire les effets négatifs de la chaleur vont dépendre du type de stress thermique auquel le poulet est exposé (TESSERAUD et TEMIM, 1999).

Dans le cas de stress thermique chronique, des solutions **nutritionnelles** (concentration de l'aliment en divers nutriments, supplémentation en additifs...) et **génétiques** (sélection de souches résistantes à la chaleur...) peuvent être appliquées pour atténuer le retard de croissance des poulets et améliorer leur survie dans ces conditions. Toutefois, à ce jour, aucune d'elles n'a permis de rétablir les résultats zootechniques obtenus en climat tempéré (DE BASILIO et PICARD, 2002).

Lors de stress thermique aigu (coup de chaleur), les solutions sont essentiellement **techniques** et visent à réduire la mortalité ; elles passent par l'amélioration des paramètres d'ambiance, le retrait diurne de l'aliment, la réduction de la densité d'élevage...

Une solution technique récente pour limiter la mortalité due aux coups de chaleur est **l'acclimatation précoce**. Elle consiste à acclimater le poulet au jeune âge en l'exposant à une température ambiante élevée durant quelques heures, lui conférant ainsi une thermotolérance lors de coups de chaleur ultérieurs (DE BASILIO et PICARD, 2002). Ses effets favorables ont été vérifiés en station expérimentale (YAHAV *et al.*, 1997), en conditions d'élevage en zone tropicale (DE BASILIO *et al.*, 2001) et en conditions d'élevage local en période estivale (BEDRANI, 2009).

Par ailleurs, parmi les additifs utilisés, la vitamine C est fréquemment employée en périodes estivales. Son rôle thermogénique (AIT BOULAHSEN, 1996) et anti-stress est rapporté par la littérature ainsi que la baisse de sa production endogène chez le poulet exposé au chaud (EL-BOUSHY *et al.*, 1968 ; KAFRI et CHERRY, 1984 ; NJOKU, 1986 ; GONZALEZ *et al.*, 1995 ; BOLLENGIER, 1998). Néanmoins, les données bibliographiques disponibles quant à son efficacité pour améliorer la productivité du poulet restent variables. De plus, l'impact de son association avec l'acclimatation précoce demeure à notre connaissance non exploré.

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est d'évaluer l'intérêt d'associer la technique d'acclimatation précoce à l'ajout de vitamine C dans l'aliment pour améliorer les performances zootechniques et la thermotolérance des poulets soumis aux fluctuations de la température estivale algérienne. De plus, l'impact de cette association sur la qualité de la carcasse, la température corporelle, le développement des organes lymphoïdes et quelques paramètres biochimiques sanguins du poulet a été exploré.

La première partie de ce mémoire est consacrée à une étude bibliographique articulée sur **3 chapitres** : le premier traitera des principaux effets de la chaleur ambiante chez le poulet de chair; le second détaillera la technique de l'acclimatation précoce en tant que moyen de lutte contre le stress thermique, et le troisième abordera les propriétés générales ainsi que les effets bénéfiques de la supplémentation en vitamine C chez le poulet exposé à la chaleur.

La deuxième partie présentera notre étude expérimentale menée en conditions réelles de chaleur estivale. Les méthodologies et les protocoles utilisés seront d'abord globalement décrits puis les résultats seront présentés et discutés. La conclusion générale fera le point des idées acquises et des perspectives qui en découlent.

I. Impact de la chaleur ambiante sur la physiologie du poulet

I.1. La thermorégulation chez le poulet

I.1.1. Homéothermie : Rappels généraux

Le poulet est un homéotherme. Il est ainsi capable de maintenir sa température interne quasi-constante, dans un intervalle de températures ambiantes relativement large. Pour cela, il doit maintenir un équilibre entre les mécanismes de thermolyse (perte de chaleur) et de thermogénèse (production de chaleur) (Figure 1).

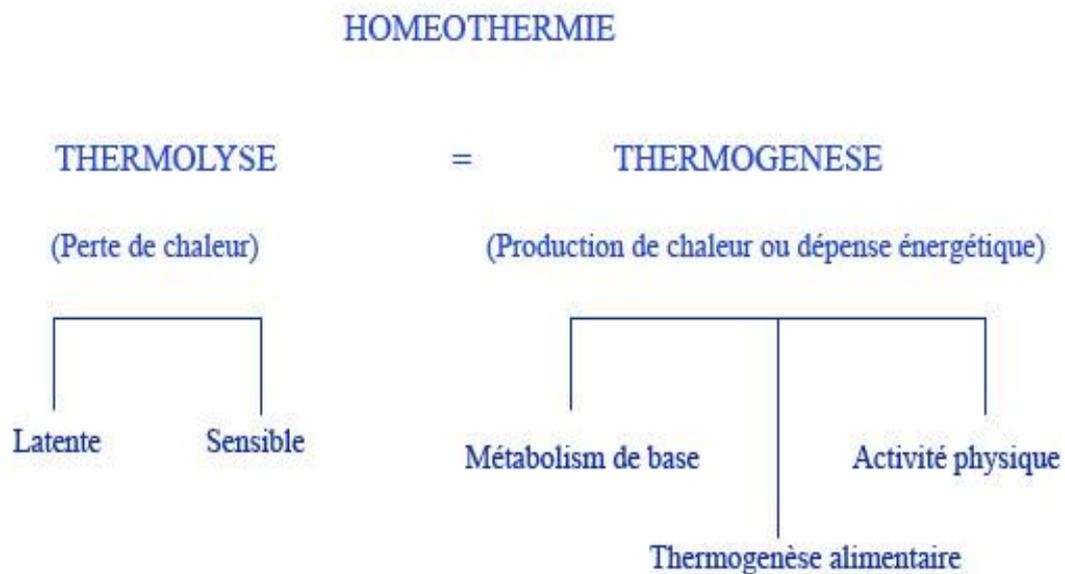


Figure 1. La thermorégulation chez les oiseaux (TEMIM, 2000)

La production de chaleur est liée au métabolisme de base, à l'activité physique, et à la thermogénèse alimentaire dite extra-chaleur. Les pertes de chaleur se font soit par voie sensible ou par voie latente.

La chaleur sensible ou libre est évacuée par échange direct avec le milieu environnant au niveau de la peau des animaux, par (Figure 2):

•**Conduction** : c'est la déperdition de chaleur (contact solide ou liquide) ; le flux se fait de la chaleur vers le froid; dans l'eau la perte est 3 fois plus élevée que dans l'air (Contact des pattes, de la poitrine, avec la litière, les parois...).

•**Convection** : déperdition de chaleur entre la surface cutanée et l'air ambiant en direction de l'air, au travers des plumes...

•**Rayonnement ou radiation** : c'est la déperdition de chaleur (surface cutanée et objet) rayonnement infrarouge au travers de l'air, en direction des parois ou des litières plus froides....

Les pertes de chaleur latente (thermolyse latente) se font par évaporation d'eau au niveau pulmonaire et se substituent donc progressivement aux pertes de chaleur sensible.

Ce mécanisme est d'autant plus efficace que l'hygrométrie de l'air inspiré par les oiseaux est faible. Par ailleurs, il existe une faible élimination de chaleur via l'excrétion fécale (AMAND *et al.*, 2004).

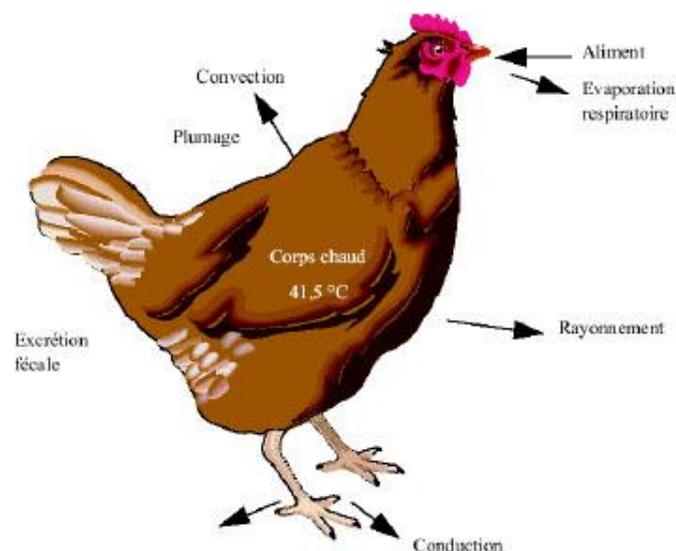


Figure 2. Principales voies de thermolyse chez le poulet (AMAND *et al.*, 2004).

I.1.2. Zone de neutralité thermique

Afin d'analyser l'efficacité des variations thermiques, un intervalle de thermo-neutralité est défini comme étant la plage de températures ambiantes pour lesquelles le poulet conserve sa température corporelle physiologique, pour un niveau alimentaire donné (PADILHA, 1995). La zone de neutralité thermique de l'ambiance dans laquelle vit l'animal (Figure 3) est définie, pour un âge donné, par les températures critiques inférieures et supérieures où l'animal réagit soit au froid ou à la chaleur (AMAND *et al.*, 2004).

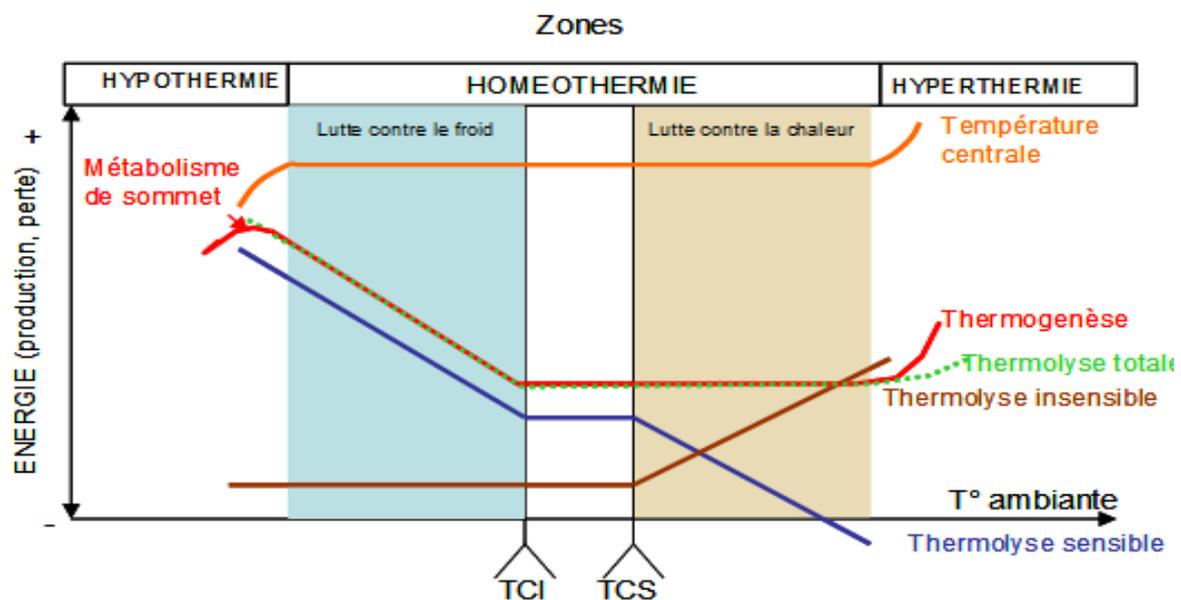


Figure 3. Représentation schématique des relations entre thermogénèse, thermolyse et température ambiante. TCI : température critique inférieure, TCS : température critique supérieure, MS : métabolisme de sommet (adaptée de Amand *et al.*, 2004).

I.2. Conséquences de l'exposition à la chaleur chez le poulet

I.2.1. Augmentation de la thermolyse et diminution de la thermogénèse

Le poulet présente une température corporelle plus élevée que celle des mammifères : 41 à 42°C (AIN BAZIZ, 1996). De par l'absence de glandes sudoripares limitant les pertes de chaleur latentes et en raison de l'efficacité d'isolation thermique de son plumage qui réduit les pertes de chaleur sensibles, le poulet est très sensible aux variations de la température ambiante (GERAERT, 1991). Selon cet auteur, la rupture d'équilibre entre production et perte de chaleur semble se situer aux alentours d'une température ambiante de 32°C, résultant en une augmentation significative de la température rectale du poulet. A partir de là, les moyens de lutte mis en place par l'organisme correspondront à une augmentation de la thermolyse et une réduction de la thermogénèse.

La figure 4 explique la répartition des échanges thermiques au niveau périphérique chez un poulet exposé à une température ambiante constante de 35°C en période de finition (YAHAV *et al.*, 2004).

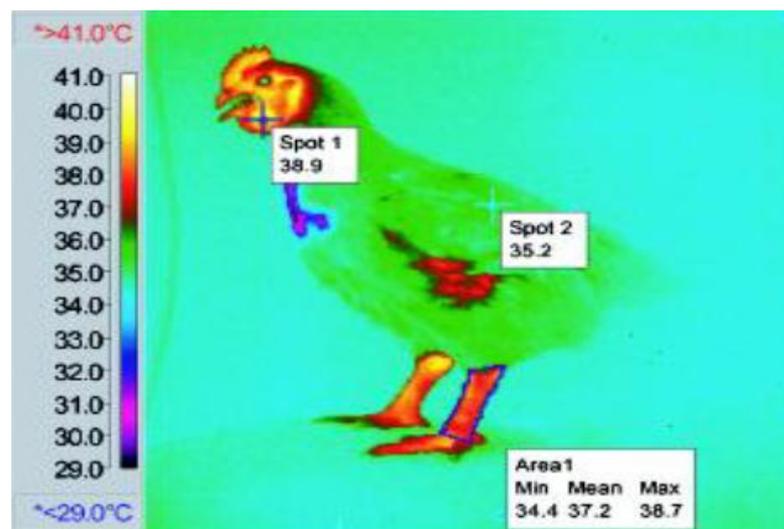


Figure 4. Répartition de la chaleur au niveau périphérique chez un poulet exposé à 35°C (YAHAV *et al.*, 2004).

L'élimination de chaleur est favorisée par l'intervention d'un ensemble de réactions végétatives et comportementales (BOTTJE *et al.*, 1983; LE MENEZ, 1987) :

- ✓ 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
- ✓ Ecartement des ailes pour augmenter la surface d'échange et présenter des zones moins emplumées.

Le poulet élimine également des calories sous forme de vapeur d'eau. De ce fait, le rythme respiratoire joue un rôle très important dans la thermorégulation car il contrôle les pertes d'eau par évaporation au niveau des poumons.

Lorsque la température ambiante dépasse 23°C, le premier réflexe de l'animal est de limiter ses apports énergétiques en diminuant sa consommation alimentaire (HOWLIDER et ROSE, 1987).

Dans un environnement chaud, le métabolisme des oiseaux se réduit rapidement au niveau d'entretien le plus bas, les déplacements sont limités et la consommation des aliments diminue, ce qui explique une partie de la perte économique associée au stress thermique.

A partir de 26°C, l'animal engage une véritable lutte contre la chaleur, en augmentant sa surface d'échange et ses pertes de chaleur par voie latente; l'évaporation respiratoire devient alors un mode très important de perte de chaleur (VAN KAMPEN, 1981). Plus la température ambiante se rapproche de la température du corps de l'animal, plus les pertes de chaleur sensible diminuent et la perte de chaleur latente devient le seul mécanisme opérationnel pour garder l'oiseau en vie (BEDRANI, 2009).

Les déperditions de chaleur sont liées à la fréquence respiratoire des poulets, qui peut s'élever de 25 mouvements/minute dans un environnement de neutralité thermique à 250 mouvements par minute lors d'un stress excessif. Le rythme respiratoire atteint un maximum de 140 à 170 mouvements par minute pour une température corporelle d'environ 44°C. Ce phénomène appelé "panting" ou hyperventilation thermique débute généralement lorsque la température ambiante atteint 29°C, mais peut commencer dès 27°C avec une hygrométrie élevée. A partir d'une fréquence respiratoire de 200 inspirations/minute, un emballement

thermique irréversible se produit. L'augmentation du rythme respiratoire entraîne une modification de l'équilibre acido-basique du sang (BOTTJE *et al.*, 1985; TEETER *et al.*, 1985). Au fur et à mesure que s'installe l'alcalose respiratoire, les systèmes de correction du pH sanguin se mettent en place, mais ceux-ci se trouvent vite dépassés (DEYHIM et TEETER, 1991).

Cette alcalose perturbe fortement l'action des cellules excitables en particulier cardiaques et nerveuses. Par ailleurs, si le rythme respiratoire atteint des valeurs trop élevées, la production de chaleur des muscles respiratoires limite l'efficacité de l'élimination. La température corporelle augmente soudain plus vite jusqu'à un maximum de 47 °C.

Enfin, à ce stade de polypnée, les échanges gazeux respiratoires, d'excessifs qu'ils étaient au début deviennent insuffisants, car l'air inspiré est rejeté avant d'avoir atteint les poumons. L'hypoxie qui s'installe alors, s'ajoute à l'alcalose et provoque rapidement la mort par arrêt cardiaque ou respiratoire.

I.2.2. Réduction de l'ingéré alimentaire et ralentissement de la croissance

La réduction de la consommation est le premier effet de l'exposition à la chaleur (AUSTIC, 1985 ; GERAERT, 1991 ; AIN BAZIZ, 1996, TESSERAUD et TEMIM, 1999) en vue de diminuer la production de chaleur métabolique et maintenir l'homéothermie (AL-FATAFTAH et ABU-DIEYEH, 2007; GERAERT *et al.*, 1997). Cette réduction de l'ingéré atteint 1,5% par °C au-dessus de 20°C (AUSTIC, 1985). Elle entraîne un ralentissement de la croissance des poulets associée à une altération de leur indice de consommation, quel que soit leur origine génétique (GERAERT *et al.*, 1993).

Le tableau 1 récapitule les résultats de nombreux travaux mesurant l'effet de l'élévation de la température ambiante, sur la consommation d'aliment, le gain de poids et l'indice de consommation du poulet de chair.

Tableau 1. Effet de la température ambiante (Ta) sur les performances des poulets
(adapté de TEMIM, 2000).

Ta (°C) Contrôle/Expérimentale	Age (semaine)	Variation Contrôle/Expérimentale (%)			Auteurs
		Gain de poids	Ingéré	IC*	
Température ambiante constante					
22 / 32	0 à 6	-11	-13	-2,6	El Husseiny & Creger, 1980
24 / 35	1 à 4	-23	-25	-2,2	Cerniglia <i>et al.</i> , 1983
24 / 35	1 à 8	-48	-47	+1,3	Cerniglia <i>et al.</i> , 1983
22 / 32	2 à 4	-18	-14	+2,6	Padilha, 1995
25 / 35	3 à 6	-24	-22	+3	Chwalibog, 1989
18 / 27	3 à 7	-3	-5	-1,8	Reece & Mc Naughton, 1982
22 / 32	4 à 6	-46	-30	+23	Washburn & Eberhart, 1988
22 / 32	4 à 6	-41	-24	+38	Padilha, 1995
25 / 35	4 à 6	-12	-16	-3	Henken <i>et al.</i> , 1982
20 / 30	4 à 7	-17	-20 ^b	-3	Washburn & Eberhart, 1988
22 / 32	4 à 7	-47	-36	+23	Ain Baziz, 1996
24 / 34	4 à 7	--	-10	-	Smith & Teeter, 1987
20 / 30	5 à 8	-34	-23	+16	Yahav <i>et al.</i> , 1995
22,5 / 30	5 à 8	-12	-12	0	Yahav <i>et al.</i> , 1995
25 / 35	5 à 8	-62	-46	+42	Yahav <i>et al.</i> , 1995
21 / 27	6 à 8	-13	-15	-	Charles <i>et al.</i> , 1981

*IC : indice de conversion calculé par le rapport entre ingéré alimentaire et gain de poids

Il semble d'une part, que lors de température ambiante (Ta) chaude cyclique, les performances zootechniques sont moins affectées que lors de Ta constante. En effet, les poulets consomment d'avantage et présentent de meilleurs indices de consommation pendant les phases de basses températures (généralement nocturnes), ce qui compense les baisses d'ingéré lors des pics diurnes de température.

D'autre part, dans les conditions d'exposition chronique à la chaleur, l'altération des performances de croissance est d'autant plus accentuée (gain de poids et IC) que la température ambiante (Ta) dépasse les 30°C. L'élévation de la Ta dans l'intervalle 27 à 30°C entraîne une diminution moyenne de l'ingéré de l'ordre de 1,4% par degré d'augmentation de la Ta, et une baisse de gain de poids de 10 à 20%. Au-delà de 30°C la chute d'ingéré atteint 2,2% par degré d'élévation de la Ta et celle du gain de poids est de 2,5% par degré d'augmentation (TEMIM, 2000).

L'effet de la chaleur ambiante sur la croissance dépend aussi du poids vifs des animaux en début d'exposition au stress thermique : plus le poids vif initial est élevé, plus l'impact de la chaleur sur le gain de poids est accentué (PADILHA, 1995).

L'âge des poulets en début d'exposition à la chaleur est également un facteur clef puisque il a été démontré que l'altération de la consommation et de la croissance sont d'avantage affectées par les Ta élevées chez les poulets exposés entre 4 et 6 semaines d'âge par rapport à des sujets plus jeunes exposés entre 2 et 4 semaines d'âge (GERAERT *et al.*, 1996).

I.2.3. Augmentation de la consommation hydrique

Plusieurs études ont montré que l'exposition du poulet à la chaleur induit un accroissement de la consommation d'eau. Ainsi, lorsque la Ta s'élève de 21°C à 32°C, la consommation hydrique quotidienne est pratiquement doublée. Celle-ci est presque triplée lorsque la Ta passe de 21°C à 37°C (Tableau 2).

Le rapport eau/aliment augmente lors de l'élévation de la température pour atteindre une valeur voisine de 8 à 37°C au lieu de 1,8 à 2 entre 18 et 20°C (CHAKROUN, 2004).

Tableau 2. Variation de la quantité d'eau consommée par poule (souche Arbor Acres) selon la température ambiante (CHAKROUN, 2004).

Age en semaines	Quantité d'eau consommée (ml/j) selon la Ta		
	10°C	21°C	32°C
1	23	30	38
2	49	60	102
3	64	91	208
4	91	121	272
5	113	155	333
6	140	185	390
7	174	216	428
8	189	235	450

I.2.4. Impact sur l'utilisation digestive

La teneur en énergie métabolisable de l'aliment ne serait pas significativement affectée par la chaleur (EL HUSSEINY et CREGER, 1980 ; GERART *et al.*, 1992 ; ZUPRIZAL *et al.*,

1993). De même, l'énergie métabolisable peut être plus élevée en ambiance chaude (ZUPRIZAL *et al.*, 1993).

Les fonctions d'absorption intestinale apparaissent peu modifiées au chaud. La taille réduite des villosités et un poids inférieur de jéjunum induisent une moindre absorption chez les poulets élevés au chaud (MITCHELL et CARLISLE, 1992).

Par ailleurs, la vascularisation semble réduite au niveau des organes viscéraux et accrue au niveau périphérique pour tenter d'augmenter la thermolyse (TESSERAUD et TEMIM, 1999).

Enfin, l'allongement du temps de transit digestif (133 minutes à 29-32°C contre 114 minutes à 20°C) chez des sujets âgés de 7 semaines faciliterait l'action des enzymes digestives dont l'activité est parfois diminué au chaud (TESSERAUD et TEMIM, 1999).

Toutes ces modifications contradictoires suggèrent un effet globalement peu important de la chaleur sur l'utilisation digestive de l'aliment. La réduction de croissance au chaud semblerait donc plus liée à une modification de l'utilisation métabolique des nutriments qu'à leur digestion.

1.2.5. Impact sur l'équilibre acido-basique

Comme évoqué plus haut, l'hyperventilation pulmonaire provoque des perturbations de l'équilibre acido-basique. Ainsi, le halètement induit par l'hyperthermie est toujours associé à une réduction de la pression partielle de CO² et de la concentration en ions H⁺ (augmentation du pH sanguin) aboutissant à une alcalose respiratoire (GERAERT, 1991). Celle-ci reste toutefois légère et fluctuante dans les conditions de stress thermique chronique (EL HADI & SYKES, 1982). En effet, dans ces conditions, les poulets ne halètent pas continuellement mais présentent plutôt des cycles avec des phases de polypnée et des pauses ou phases de repos. (TEETER *et al.*, 1985).

L'alcalose respiratoire entraîne des perturbations dans l'homéostasie des différents électrolytes sanguins. Ce phénomène est accentué par les fluctuations du bilan hydrique correspondant à une augmentation des pertes évaporatives par voie respiratoire et par une consommation accrue d'eau qui perturbe l'élimination urinaire (TEMIM, 2000). Cette élimination d'eau peut entraîner une déshydratation ainsi qu'une fuite d'électrolytes sanguins (K, P, S, Na, Mg, Ca, Mn, Zn et Cu) (BELAY *et al.*, 1992).

Si la température corporelle continue à augmenter, les poulets présentent un état de prostration et très vite des changements cellulaires irréversibles vont entraîner la mort. Souvent la cause ultime est la défaillance du système cardiovasculaire. Toutefois, certains auteurs mettent en cause d'autres mécanismes tels que l'insuffisance adrénocorticale aigue lorsque la température corporelle dépasse 44,5°C (TEMIM, 2000).

I.2.6. Impact sur immunité

Le stress thermique affecte les organes lymphoïdes (bourse de fabricius, la rate et le thymus), les globules blancs et conduit à une augmentation du nombre des lymphocytes et des monocytes (MOGENET et YOUBICIER-SIMO, 1998 ; BORGES *et al.*, 1999 ; ALTAN *et al.*, 2000 ; NASEEM *et al.*, 2005). Il réduit la réponse immunitaire chez le poulet (SAVIC *et al.*, 1993). Le stress thermique réduit la concentration d'IgM et d'IgG, et supprime la production d'anticorps chez les poussins (ZULKIFI *et al.*, 2000)

I.2.7. Impact sur la mortalité

Quand la température atteint des limites létales (au-delà 47°C), le taux de mortalité augmente chez le poulet de chair (BELL et FREEMAN, 1971). En Jordanie, en 1985, il y'a eu plus de 40% de mortalité chez le poulet de chair en phase final (AL-FATAFTAH, 1987). Une température ambiante élevée prolongée, accroît la mortalité et réduit la croissance (HOWLIDER et ROSE, 1989). L'augmentation de la mortalité durant un stress thermique, est due à l'incapacité du poulet à baissé sa température corporelle par évaporation, menant vers une accumulation de la chaleur à l'intérieur du corps. La chaleur accumulée, augmente la température corporelle et mène vers un arrêt cardiaque (DEATON *et al.*, 1984).

I.2.8. Impact sur le poids de la carcasse

Le stress thermique réduit considérablement le poids de la carcasse du poulet de chair, et nécessite un temps plus long pour atteindre le poids du marché (HURWITZ *et al.*, 1980 ; MCKEE *et al.*, 1997 ; RICHARDS, 1997 ; SEEHAWER, 2001).

II. Acclimatation précoce : modalités et effets chez le poulet

II.1. Acclimatation : définitions et modalités pratiques

L'**acclimatation** a été définie comme une adaptation dirigée d'une espèce animale à un milieu différent de son milieu d'origine (par l'homme) (DE BASILIO, 1999). Le terme « acclimatation » décrit également les changements induits par une longue exposition des animaux à une température particulière dans les conditions de laboratoire ou des conditions contrôlées de manière précise où l'animal a peu de possibilités d'exprimer une adaptation comportementale (WHITOW, 1986).

Par ailleurs, dans la nature, les oiseaux sont capables de vivre dans des conditions de températures variables. Ce phénomène, qualifié « **d'Acclimatement** », est lié à des modifications du métabolisme permettant aux animaux de s'adapter aux variations du climat, habituellement en conditions de plein air (DE BASILIO, 1999).

Selon WHITOW (1986), les températures corporelles des volailles sont plus élevées en été qu'en hiver. De même, les modifications des températures corporelles pendant l'acclimatement sont similaires à celles obtenues pendant l'acclimatation. Il n'y aurait donc pas de différence fondamentale entre ces deux termes.

Concernant les modalités d'application de l'acclimatation, plusieurs techniques pratiquées chez le poulet ont été décrites dans la littérature. Globalement, l'acclimatation est un concept relativement simple dont les conditions précises varient d'une étude à une autre.

Selon GOGNI (1986), l'acclimatation est l'effet bénéfique d'un stress pré-conditionnant sur la résistance ultérieure au coup de chaleur. Ainsi, une exposition simple des poulets à l'âge de 5 jours à une température élevée modérée induit une baisse significative de la mortalité lors d'un coup de chaleur subit à la 6ème semaine, sans réduction du gain de poids. Dans l'étude de MELTZER (1987), la technique appliquée a consisté à soumettre les poulets à des expositions journalières répétées et courtes à des T_a élevées. Selon JORDAN (1996), la capacité de tolérance au stress thermique résultant de l'acclimatation s'obtient par une exposition graduelle à une température croissante. La technique décrite par VALANCONY (1996) consiste à acclimater les animaux en les exposant, à partir de l'âge de

15 jours et jusqu'à 35 jours, à une température supérieure de 2 à 3°C à celle préconisée normalement. Enfin, dans la technique d'acclimatation dite « tardive », l'exposition à la chaleur sensée conférer la thermorésistance, est réalisée au-delà de 21 jours d'âge (SYKES et FATAFTAH, 1986 ; LIEW *et al.*, 2003).

Dans notre étude bibliographique, seule la technique d'acclimatation précoce, objet de notre étude expérimentale, sera décrite.

II.2. Technique d'acclimatation précoce

II. 2. 1. Principe général

Cette technique consiste à placer des poussins âgés de quelques jours à une température ambiante élevée (35 à 40°C) pendant 24 heures. Cette exposition au jeune âge est sensée conférer aux animaux une thermorésistance aux coups de chaleurs ultérieurs notamment en phase de finition ou ils sont les plus vulnérables (BEDRANI, 2009). Ainsi, l'application de l'acclimatation précoce nécessite 2 expositions de durées variables à une température ambiante élevée. La première est généralement opérée lors des 7 premiers jours d'âge. La deuxième est réalisée en phase de finition. Celle-ci constitue donc la période la plus propice pour évaluer la thermotolérance acquise au jeune âge des sujets acclimatés (BEDRANI, 2009).

II.2.2. Caractéristiques de la première exposition (stress thermique initial)

La réussite du traitement d'acclimatation précoce est conditionnée par divers facteurs, à savoir : l'âge des poussins, la durée et la température ambiante de la première exposition

➤ *L'âge de la 1^{ère} exposition*

Les poulets sont en général acclimatés avant l'âge de 7 jours, c'est-à-dire avant qu'ils ne deviennent homéothermes (FREEMAN, 1987). La 1^{ère} exposition est effectuée au 5^{ème} jour d'âge, dans la majorité des études d'acclimatation précoce, basées sur les essais initiaux d'ARJONA *et al.* (1988). WIDEMAN *et al.* (1994) acclimatent les poussins à 7 jours d'âge. INOU *et al.* (1995) proposent 2 expositions réalisées au 3^{ème} et au 7^{ème} jour d'âge. Enfin, selon YAHAV et MC MURTRY (2001), l'acclimatation à 3 jours d'âge confère aux animaux la meilleure thermorésistance ainsi que les meilleures performances de croissances.

➤ *La température du stress thermique initial*

Selon les études réalisées, la Ta du premier stress se situe entre 35 et 40°C (DE BASILIO et PICARD, 2002). Une très grande variabilité des résultats publiés semble être due à ce paramètre. Ainsi, aucun effet positif lié à l'acclimatation après une 1^{ère} exposition à des Ta variant de 35 à 38 °C n'est retrouvé par certains auteurs (MC DONALD *et al.*, 1990 ; MAY *et al.*, 1995). En revanche, d'autres auteurs mentionnent des résultats positifs lorsque les poussins sont soumis au jeune âge à des températures variant de 36 à 37,5°C (YAHAV et HURWITTS, 1996 ; DE BASILIO, 1999 ; DE BASILIO *et al.*, 2001). L'efficacité maximale du traitement d'acclimatation précoce, serait obtenue lorsque la température de la 1^{ère} exposition est adaptée à l'âge de l'animal (DE BASILIO *et al.*, 2003). Ainsi, l'amélioration significative de la croissance, suite à une acclimatation au 3^{ème} jour (Tableau 3), n'est pas retrouvée lorsque les poussins sont acclimatés à 39°C ou à 40,5°C YAHAV et MC MURTHY (2001). Selon DE BASILIO *et al.* (2003), la température de la 1^{ère} exposition doit être augmentée à mesure que les poussins avancent dans l'âge. Ceci n'est valable que pour les poussins de moins de 7 jours d'âge (BEDRANI, 2009).

Tableau 3. Effet du moment du traitement de l'acclimatation précoce (AP) sur quelques paramètres zootechniques du poulet âgé de 42j (YAHAV et Mc MURTHY, 2001).

Traitement	Poids vif (g)	Gain de poids (g/période)	Ingéré alimentaire (g/période)	Efficacité alimentaire (g/g)
Expérience 1				
Témoin	2136	2081	3976	0,524 _{ab}
AP- jour 1	2185	2130	4132	0,516 _b
AP- jour 2	2209	2154	4082	0,528 _{ab}
AP- jour 3	2209	2155	3962	0,545 _a
SEM _§	3883	3879	7927	0009
Expérience 2				
Témoin	2034	1983	3441	0,576 _{ab}
AP- jour 3	2110	2061	3516	0,586 _a
AP- jour 4	2111	2050	3608	0,568 _b
AP- jour 5	2099	2060	3584	0,574 _{ab}
SEM	29,50	29,78	53,45	0,006

^{a, b} dans une même colonne, les valeurs avec une même lettre ne sont pas significativement différentes à p<0,05.
 § SEM : erreur standard moyenne

➤ *La durée de la 1ère exposition*

L'analyse des différentes études menées depuis des années sur l'acclimatation précoce montre que dans la majorité des cas, les animaux sont exposés à une température élevée lors d'une période de 24 heures (DE BASILIO et PICARD, 2002). Une exposition des poussins pendant 12 heures à une température ambiante de 40°C au 5^{ème} jour d'âge ne réduit pas la température corporelle des animaux (DE BASILIO *et al.*, 2003). Alors, qu'une exposition pendant 24 heures à la même température, réduit significativement la température corporelle, après cette période. L'impact du traitement de l'acclimatation est en fait jugé par les modifications de la température corporelle (DE BASILIO *et al.*, 2003).

II.2.3. Caractéristiques de la 2^{ème} exposition (stress thermique final)

L'acquisition d'une thermo-résistance des animaux lors du premier stress thermique, n'est confirmée que par la deuxième exposition. Cette deuxième exposition est appliquée entre la 6^{ème} et la 8^{ème} semaine d'élevage. Elle consiste à soumettre les poulets à une température ambiante fixe, comprise entre 35 et 37,5°C (YAHAV et HURWITZ, 1996 ; YAHAV *et al.*, 1997a ; YAHAV *et al.*, 1997b ; DE BASILIO *et al.*, 2003), ou bien cyclique avec un minimum de 25°C et un maximum de 37,8°C (ARJONA, 1988). Selon les études, la durée d'exposition varie, entre 3 et 8 heures (DE BASILIO, 1999 ; DE BASILIO et PICARD, 2002).

II.2.4. Acclimatation des embryons

Durant la dernière décennie, les études ont notamment porté sur l'acclimatation pendant la période périnatale. Cette acclimatation met en jeu des mécanismes de régulation génétique 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.

Cette technique présente l'avantage de 'mimer' les conditions naturelles de couvain chez les oiseaux qui semblent être à l'origine de la meilleure adaptation des animaux aux variations climatiques. Plusieurs études ont eu pour but de tester l'efficacité de différentes conditions d'acclimatation embryonnaire en examinant leurs conséquences sur la thermo tolérance 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 thermo tolérance des poussins peuvent être manipulées, sans effets délétères sur l'éclosabilité, la croissance et la tolérance a un coup de chaleur.

II.3. Impacts de l'acclimatation précoce

II.3.1. Impact sur la mortalité

La réduction de la mortalité suite une augmentation violente de la température ambiante reste le principal effet de l'acclimatation chez le poulet. La première exposition n'a pas démontré de différence significative en termes de mortalité. A l'inverse, l'effet de l'acclimatation est démontré entre la 5^{ème} et la 7^{ème} semaine lorsque la température est élevée de manière brutale (DE BASILIO *et al.*, 2003). Le tableau 4 résume différentes études démontrant la réduction du taux de mortalité.

Tableau 4. Synthèse de différentes études, relevant l'effet de la réduction de mortalité lors d'une exposition précoce à un stress thermique (adapté de BEDRANI, 2009).

Auteurs	Stress thermique initial		Stress thermique final		Baisse relative de la mortalité par rapport aux témoins
	Age (j)	Ta (°C)	Age (j)	Ta (°C)	
Arjona <i>et al</i> (1990)	5	35-37,8	43 44	35-37,8	-63%
Smith et Ghee (1990)	5	38	21 49	24-35	-2%
Mc Donald <i>et al</i> (1990)	5	36±2	45	35	-11%
Bougon <i>et al</i> (1996)	5	38	37	32	-15%
Yahav et Hurwitz (1996)	5 et 7	36	42	35	-15%
	5	36	42	35	-37%
Yahav <i>et al</i> (1997a)	5	36	42	35	-26%
Yahav et Mc Murty (2001)	2	36	42	35±1	-11%
	3	36	42	35±1	-10%
	4	36	42	35±1	-8%
De Basilio <i>et al</i> (2001b)	5	40	42	36	-30%

II.3.2. Impact sur l'ingéré, la croissance et l'indice de consommation :

La première conséquence suite à la première exposition, est la réduction du gain de poids (DE BASILIO et PICARD, 2002). Après la première exposition, on note une consommation plus réduite chez les animaux acclimatés (DE BASILIO et PICARD, 2002). Les poussins compensent cette baisse de l'ingéré dans les deux ou trois jours qui suivent le traitement de l'acclimatation (YAHAV *et al.*, 1997a ; DE BASILIO, 2003). Ainsi, en fin d'élevage, on se retrouve avec un ingéré total égale dans les deux groupes (DE BASILIO et PICARD, 2002).

II.3.3. Impact sur la consommation d'eau :

Après le premier stress, aucune augmentation de la consommation d'eau n'a été noté chez le groupe des sujets acclimatés (BOUGON *et al.*, 1996, ARJONA *et al.*, 1990), alors qu'après le deuxième stress, on note une consommation plus importante chez les poulets acclimatés (ARJONA *et al.*, 1990).

II.3.4. Impact sur la température corporelle :

La conséquence immédiate d'un stress thermique, est l'élévation de 1°C de la température corporelle (YAHAV *et al.*, 1997a, YAHAV et HURWITZ, 1996, DE BASILIO, 2001a). Lors des 48 heures qui suivent le premier stress, on note une baisse de la température corporelle, donnant ainsi une température moins élevée au 7^{ème} jour (-0,13°C), chez les poussins acclimatés (DE BASILIO *et al.*, 2001b ; DE BASILIO et PICARD, 2002 ; DE BASILIO *et al.*, 2003).

II.3.5. Impact sur les paramètres sanguins :

L'acclimatation précoce à 5 jours d'âge réduit durablement l'hématocrite dès la première exposition et cette diminution reste mesurable jusqu'à la deuxième exposition (YAHAV *et al.*, 1997a ; DE BASILIO *et al.*, 2001a). Cette baisse de l'hématocrite est associée à une diminution de la viscosité du sang qui reste toutefois moins importante chez les sujets acclimatés par rapport aux témoins (DE BASILIO, 1999 ; DE BASILIO *et al.*, 2001a).

II.3.6. Autres effets de l'acclimatation précoce :

- **Rythme respiratoire et fréquence cardiaque**

Lors d'exposition à une température élevée de 33°C au 57ème jour, le rythme respiratoire des poulets acclimatés augmente de 50 inspirations par minute, par rapport aux témoins (ZHOU *et al.*, 1997). Ceci suggère que l'acclimatation précoce au 5ème jour d'âge augmente les capacités de dissipation de la chaleur par halètement (thermolyse respiratoire) lors d'un stress thermique ultérieur. Dans ces mêmes conditions, aucune modification de la fréquence cardiaque n'est relevée.

- **La réabsorption du sodium**

Après acclimatation précoce, la réabsorption du sodium au niveau rénal serait plus efficace lors de coup de chaleur à l'âge de 33 jours. Il semble donc que l'acclimatation précoce tend à compenser les pertes hydriques et électrolytiques dues au halètement, via une meilleure réabsorption au niveau rénal (DE BASILIO, 1999).

- **Effet sur le développement intestinal**

Les travaux de UNI *et al.* (2001) mettent en évidence un volume plus important des villosités intestinales au niveau jéjunal et une expression plus importantes des enzymes de la bordure en brosse (phosphatase alcaline, aminopeptidases et sucrase isomaltase) chez des poussins âgés de 7 jours et acclimatés au 3ème jour d'âge.

La prolifération des villosités intestinales est nettement réduite chez les poussins en cours d'acclimatation (première exposition). Cependant 48 heures après, une accélération de l'activité mitotique au niveau des cryptes intestinales est constatée. Enfin, 72 heures après le traitement d'acclimatation, les enterocytes subissent une hypertrophie qui provoque à son tour une élongation de la villosité intestinale, d'où l'augmentation de son volume (UNI *et al.*, 2001).

III. Apport de vitamine C au chaud

III.1. Généralités sur la vitamine C

L'acide ascorbique (vitamine C) est un composé simple qui a été isolé d'une glande surrénale chez les mammifères (SZENT et GYORGI, 1928). On lui a d'abord attribué le nom d'acide hexuronique, puis acide cevitaminique, sorbutamin et vitamine scorbutique (KUTSKY, 1922). La vitamine C est un composé cristallin de couleur blanche, appelé de nos jours Acide L-ascorbique (FLETCHER et CASON, 1991). Chez les poulets, les reins synthétisent l'acide ascorbique. Les sucres comme le glucose, mannose et le fructose sont des précurseurs de l'acide ascorbique. Des organes comme la rate, le foie, l'intestin contiennent des quantités plus importantes que le plasma (FREEMAN, 1986).

La vitamine C est composée de six carbones structurellement apparenté au glucose, consistant en deux composés inter-convertible : l'acide L-ascorbique, qui est un agent réducteur fort et son dérivé oxydé, l'acide L-dehydroascorbique.

Une production endogène de l'acide ascorbique existe chez le poulet, qui répond aux besoins physiologiques, sous des conditions normales (PARDUE et THAXTON, 1986). Cependant cette production endogène devient insuffisante lors de stress. Les taux d'acide ascorbique dans le sang sont inversement proportionnels à la température ambiante, dans une fourchette entre 21°C à 31°C (THORNTON, 1961). Quand la température ambiante augmente, les taux d'acide ascorbique dans le sang diminuent. Donc un supplément en acide ascorbique peut être bénéfique pour une bonne croissance.

III.2. Fonctions métaboliques de la vitamine C

La vitamine C assure plusieurs rôles dans l'organisme : Elle agit comme antioxydant en protégeant les cellules contre l'action néfaste des radicaux libres qui sont responsables de l'oxydation des cellules et de leur vieillissement prématuré. Elle participe à la synthèse du collagène qui est une protéine importante pour le maintien et le développement des os, dents, cartilages, ligaments et vaisseaux sanguins.

La vitamine C joue un rôle dans la défense immunitaire puisqu'elle stimule et régularise l'activité des cellules immunitaires et participe au processus de cicatrisation.

Chez la volaille, une insuffisance en vitamine C entraîne des douleurs articulaires et osseuses, de l'anémie, des retards de cicatrisation, une diminution de la qualité des coquilles d'œufs et une susceptibilité accrue aux infections. La vitamine C est très instable ; elle est dégradée par la chaleur et l'exposition à l'air. Lorsqu'elle est ajoutée à la ration, chauffée et entreposée pour une période prolongée, la vitamine C est presque entièrement détruite. De ce fait, la supplémentation en vitamine C sous une forme stable s'impose.

III. 3. Effet de l'acide ascorbique chez le poulet soumis au stress thermique

Concernant les paramètres zootechniques, de nombreux travaux ont mis en évidence l'effet positif de l'addition de vitamine C sur les performances de production du poulet soumis à un stress thermique (PURON *et al.*, 1994 ; PURON *et al.*, 1997 ; ÇINAR *et al.*, 2006).

Le Tableau 5 synthétise les résultats de performances obtenues après l'addition de vitamine C dans l'eau de boisson ou dans l'aliment, à différentes doses, chez des poulets soumis à des températures élevées cycliques ou constantes.

Il apparaît d'une part, que l'amélioration des performances induite par l'addition de la vitamine C, est plus importante chez les poulets exposés à des températures cycliques (NJOKU, 1986 ; VATHANA *et al.*, 2002 ; FATHY, 2006) comparativement à ceux évoluant dans un milieu à température élevée constante (MCKEE *et al.*, 1997 ; PUTHPONG-SIRIPORN *et al.*, 2001). En effet, chez les premiers, le gain de poids s'améliore alors que la consommation d'aliment reste invariable, ce qui explique la réduction de l'indice de consommation, suggérant une meilleure efficacité de transformation alimentaire probablement pendant les heures les plus fraîches. D'autre part, l'impact positif de la vitamine C sur les performances du poulet à la chaleur dépend de la température d'exposition. En effet, cet impact est d'autant plus élevé que la température ambiante dépasse 34°C (NJOKU, 1986 ; VATHANA *et al.*, 2002).

Aussi, la dose de vitamine ajoutée est un élément déterminant. Dans les études de NJOKU (1986), LOHAKARE *et al.* (2005) et MBAJIRGU *et al.* (2007), les doses variant entre 200 et 400ppm semblent donner le meilleur effet.

Tableau 5. Effet de l'addition de la vitamine C sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse de plusieurs auteurs).

Température ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement AA	GP*	IA*	IC*	Auteurs et Année
34,6-35,5	PC(SM)	0-8 sem	Aliment				Njoku (1986)
			200ppm	+18	PE*	-15	
			400ppm	+10	PE	-8	
33-37,5	PC(SM)	0-8 sem	Aliment				Njoku (1986)
			100ppm	+5	-3,5	-8	
			200ppm	+24	PE	-19	
34	PC(M)	J9-J17	Aliment				Mckee et al. (1997)
			150ppm	PE	PE	PE	
35 constante	PP(SM)	34-37	Eau de boisson				Puthpong Siriporn et al. (2001)
			1000 ppm	-	PE	-	
28-37	PC(SM)	0-77	Eau de boisson				Vathana et al. (2002)
			20 mg/sujet/jour	+9	+5	-8	
			40 mg/sujet/jour	+18	+9	-9	
34(8h) stress aigu	Caille	J10-J42	Aliment				Sahin et al. (2003)
			250mg/Kg	+5,5	+2	+5	
Non identifiée	PC(SM)	0-6 sem	Aliment				Lohakare et al. (2005)
			10 ppm	+2	+2	PE	
			50 ppm	+6	+4	PE	
			100 ppm	+9	+12	+3	
27,6-35,6	PC(SM)	1-7sem	Aliment				Fathy (2006)
			3mg/Kg (0,03%)	-6	+10	+17	
25-32	PC(SM)	3-6sem	Aliment				Mbajirgu et al. (2007)
			100 ppm	+17	-8	-20	
			200 ppm	+47	-5	-31	
			300 ppm	+78	-12	-47	
1000 ppm	+150	-14	-63				
30-33(12h) 21-23(12h)	PC(F)	5-6 sem	Aliment+ mélange ASA/AA/NaHCO ₃ /KCl	+43	+11	-22	Roussan et al. (2008)

*Les variations des paramètres sont exprimées en % par rapport aux témoins.

GP : gain de poids ; IA : ingéré alimentaire ; IC : Indice de consommation ; PP : poule pondeuse ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; M : mâles ; F : femelles ; PE : pas d'effet ; - : Non déterminé

Pour l'équilibre acido-basique, peu de travaux rapportent l'effet de l'addition de vitamine C sur ce paramètre chez le poulet soumis au chaud. PARDUE *et al.* (1985) constatent que l'ajout de 1 ppm d'acide ascorbique maintient le taux de K⁺ sanguin des poulets âgés de 28 jours et exposés à un stress aigu de 43°C pendant 30 minutes.

Concernant les paramètres hématologiques, l'addition d'acide ascorbique à différentes doses (MCKEE et HARRISON, 1995 ; LOHAKARE *et al.*, 2000 ; ZULKIFLI *et al.*, 2000) dans l'aliment ou dans l'eau de boisson, diminue le rapport H/L des poulets soumis à un stress thermique (Tableau 6). Cette diminution est liée à l'élévation significative de nombres des lymphocytes. La vitamine C induit une immunité humorale optimale chez les poulets soumis à un stress thermique chronique, et protège la bourse de Fabricius des effets des glucocorticoïdes sécrétés lors de l'exposition à un stress thermique (AENGWANICH *et al.*, 2005).

Tableau 6. Effet de l'addition de la vitamine C sur le nombre des hétérophiles, des lymphocytes et le rapport H/L du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques)

Température ambiante	Espèce	Age	Traitement AA	H*	L*	H/L*	Auteurs et Année
Stress chronique 24-34 33	C* (F)	0-6 sem	Eau de boisson	-10	+3	-11	Zulkifli <i>et al.</i> (2000)
			1200ppm				
	PC (SM)	4-7 sem	Aliment	-	+9	+8	Aengwanich <i>et al.</i> (2003)
			200mg/Kg				
			400mg/Kg	-			
			800mg/Kg		PE		
Non contrôlée	PC (SM)	0-6 sem	Aliment				Lohakare <i>et al.</i> (2005)
			10 ppm			-27	
			50 ppm			-13	
			100 ppm			-7	
			200 ppm				-24

*Les variations des paramètres sont exprimées en % par rapport aux témoins. H : hétérophiles ; L : lymphocytes ; H/L : hétérophiles/lymphocytes ; C : caille ; PP : poule pondeuse ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; F : femelles ; PE : pas d'effet.

Concernant la mortalité, DAVID et BRAKE (1985) ont noté une amélioration de la survie chez des poulets supplémentés en vitamine C à raison de 1000 ppm et exposé à un stress thermique (baisse de la mortalité de 14,6%). Ainsi, la supplémentation en vitamine C convertit les protéines et graisses du corps en énergie pour la production et la survie à travers

une augmentation de la sécrétion de corticostérone, et réduit la mortalité (MARSHALL et HUGHES, 1980 ; PARDUE *et al.*, 1985a, 1985b; BAINS, 1996 ; GIANG et DOAN, 1998 ; DOAN, 2000 ; VATHANA *et al.*, 2002) (Tableau 7). La vitamine C joue un rôle dans la synthèse des leucocytes, plus précisément les phagocytes et les neutrophiles, qui jouent un rôle important dans le système de défense du poulet lors de stress thermique (VATHANA *et al.*, 2002).

Tableau 7. Importance de la supplémentation en vitamine C durant un stress thermique.

Auteurs	Conclusion
Bains (1996)	La vitamine C a un rôle majeur dans la synthèse de la corticostérone.
Sahin et Kucuk (2003)	L'acide ascorbique est nécessaire pour différentes réactions biochimiques, aussi bien la régulation de la sécrétion de la corticostérone, de la température corporelle ainsi que de l'activation de l'immunité.
Pardue <i>et al.</i> (1985b)	La demande en vitamine C accroît durant le stress thermique au-delà des capacités de production du poulet.
Kutlu et Forbes (1993)	Un excès en vitamine C peut réduire les performances du poulet, surtout en l'absence de stress thermique.
Vathana <i>et al.</i> (2002)	On note une meilleure action de la supplémentation en vitamine C lors de températures ambiantes élevées.
Aengwabich (2003)	Au-delà de 21 jours, la supplémentation en vitamine C provoque traumatismes hépatiques et rénaux.
Sabah Elkheir <i>et al.</i> (2008)	Une supplémentation excessive en vitamine C réduit les performances du poulet surtout en l'absence de stress thermique.

En conclusion de cette étude bibliographique :

Il est évident que le stress thermique affecte la santé et les performances du poulet de chair. Ces effets indésirables semblent être améliorés par une exposition à la chaleur dès le jeune âge pour induire l'acquisition d'une résistance aux fortes chaleurs chez le poulet de chair en finition ainsi que lors d'une supplémentation en vitamine C.

Qu'elle serait l'effet d'une association entre l'acclimatation précoce et la supplémentation en vitamine C, sur la croissance et la résistance du poulet à des fortes chaleurs, semblables à celle qu'on connaît en Algérie en période estivale ?

I. Objectif

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'intérêt de l'application de la technique d'acclimatation précoce, associé à une supplémentation en Vitamine C, sur les performances zootechniques du poulet de chair élevé en période estivale. Plus précisément, nous examinons l'effet d'un stress thermique précoce, et une supplémentation en Vitamine C opérés respectivement à 5 jours et 28 jours d'âge, sur les performances zootechniques, la qualité de la carcasse et quelques paramètres biochimiques sanguins des poulets de chair soumis aux fluctuations de la température estivale.

II. Lieu, durée et période de l'essai

Cet essai est réalisé à la Station des Monogastriques de l'Institut Technique des Elevages de Baba Ali, Alger (ITELV). Il s'est déroulé durant l'été de l'année 2010.

La période de l'essai s'étalait du 20 juin au 08 août 2010, soit une durée de 49 jours. Elle comportait 2 périodes :

Une période allant de J0 à J28, où l'ensemble des poulets était soumis à des conditions standards d'élevage, en dehors du traitement de l'acclimatation précoce opérée à l'âge de 5 jours pour les lots acclimatés.

Une période s'étalant de J28 à J49, durant laquelle la supplémentation en vitamine C a été appliquée pour les groupes de poulets concernés (voir plus loin).

III. Animaux

A la mise en place, 1100 poussins d'1 jour (sexe mélangés) de souche Hubbard F15, provenant du même couvoir (SIFAAC, Dar El Beida) ont été divisés en **2 groupes**, de poids homogènes : Un groupe « **Témoin** » non acclimaté et un groupe « **Acclimaté** » ayant fait l'objet du traitement d'acclimatation précoce à l'âge de 5 jours (voir modalités plus loin). Chaque groupe est ensuite réparti dans 10 parquets (soit 55 individus/parquet et un total de 550 animaux par groupe).

A l'âge de **28 jours**, les animaux Témoins et Acclimatés sont pesés, triés et sexés pour être répartis dans **4 groupes expérimentaux** de poids homogène de 220 sujets chacun. Chaque groupe est alors divisé en 5 lots de 44 sujets (22 mâles et 22 femelles placés dans chaque parquet). Les 4 groupes expérimentaux sont désignés comme suit :

- Groupe T :** poulets témoins non acclimatés et recevant une alimentation standard (de base).
- Groupe A :** poulets acclimatés et recevant une alimentation standard
- Groupe VC :** poulets non acclimatés et nourris avec le même aliment de base supplémenté en Vitamine C à partir de J28.
- Groupe AVC :** poulets acclimatés et recevant de l'alimentation supplémentée en Vitamine C à partir de J28.

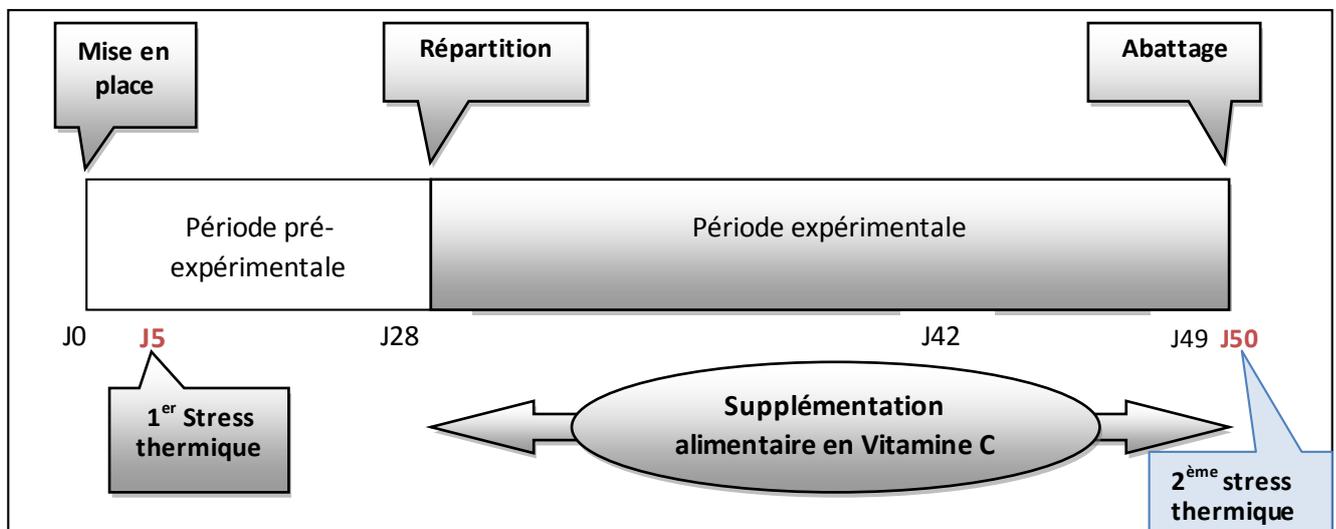


Figure 5. Schéma récapitulatif du protocole expérimental.

Remarque : Dans ce mémoire, seuls les résultats relatifs aux mâles seront présentés.

IV. Bâtiment

Pour cet essai, un grand bâtiment comportant deux rangées de parquets séparées par un couloir a été utilisé pour l'élevage durant toute la durée de l'expérimentation et un deuxième bâtiment n'a servi que pour les 24 heures d'acclimatation entre le 5ème et le 6ème jour d'âge. Le premier bâtiment compte 18 parquets par rangée. Le deuxième plus petit n'en compte que 9. Chaque parquet a une superficie totale de 5,27m². Il est recouvert d'une litière de paille et est équipé d'un abreuvoir automatique. L'éclairage du bâtiment est continu (24 heures sur 24)

durant toute la durée de l'élevage. La ventilation est assurée par des trappes disposées de part et d'autre, tout le long du bâtiment. L'appel d'air est effectué par des extracteurs.



Figure 6. Bâtiment d'élevage, vue extérieure.



Figure 7. Bâtiment d'élevage, vue intérieure.



Figure 8. Bâtiment d'élevage, ayant servi au choc thermique à J5, vue extérieure.



Figure 9. Bâtiment d'élevage, ayant servi au choc thermique à J5, vue intérieure.

V. Equipement d'élevage

V.1. Matériels d'alimentation

Durant notre essai, nous avons utilisé des mangeoires adaptés à l'âge des poulets :

- Des assiettes circulaires en plastique du 1^{er} au 6^{ème} jour d'âge.
- Des mangeoires linéaires du 7^{ème} au 11^{ème} jour d'âge.
- Des trémies suspendues au plafond du 11^{ème} jour jusqu'à l'abattage.

V.2. Matériels d'abreuvement

Au début de l'essai, nous avons utilisé des abreuvoirs siphoniques en plastique du 1^{er} au 11^{ème} jour d'âge, puis des abreuvoirs automatiques du 11^{ème} jour jusqu'à l'abattage.

V.3. Matériels de chauffage

Nous avons utilisé des radiants à gaz butane à raison d'un radiant par trois lots en 1^{ère} âge et à raison de deux radiants pendant la période expérimentale. Un des radiants est disposé à l'entrée du bâtiment, l'autre à la sortie. Le contrôle des variations de la température ambiante estivale est réalisé avec 5 thermomètres à mercure placés à une hauteur moyenne de 1 mètre et demi du sol. Pour enregistrer la température ambiante du bâtiment et l'hygrométrie, un thermo-hygromètre est placé à la même hauteur au milieu du bâtiment (au niveau du couloir central).

V.4. La litière

Une litière en copeaux de bois a été répartie sur le sol cimenté et recouvert d'un peu de chaux (épaisseur d'environ 15 cm). Durant toute la période d'élevage, cette litière n'a pas été changée mais des rajouts ont été effectués pour l'ensemble des parquets.

VI. Aliment et modalités de la supplémentation en vitamine C

Tous les animaux reçoivent 3 types d'aliments standards adaptés aux trois phases d'élevage, à savoir :

1. Un aliment « démarrage » distribué entre J1 et J10
2. Un aliment « croissance » distribué entre J10 et J42
3. Un aliment « finition » distribué entre J42 et J50

La composition et les caractéristiques de chaque aliment sont présentées dans le tableau 8. L'aliment est fourni *ad libitum* au même titre que l'eau de boisson et ce durant toute la période d'élevage.

Tableau 8. Composition et caractéristiques des aliments utilisés durant l'essai (%).

	Aliment Démarrage	Aliment Croissance	Aliment Finition
Matières Premières (%)			
Maïs	60,90	64,80	68,80
Son de blé	5,90	5,00	6,00
Tourteau de soja	29,10	27,00	21,80
Calcaire	0,57	1,20	1,30
Phosphate Bicalcique	1,50	1,00	1,10
Méthionine	0,03	-	-
Antistress	1,00	-	-
CMV D-C [§]	1,00	1,00	-
CMV F [§]	-	-	1,00
Caractéristiques (valeurs calculées)			
EM (kcal/kg)	2800	2900	2930
Protéines brutes (%)	21	19	17

[§] CMV D-C : complément minéral et vitaminique pour les phases de démarrage et de croissance, CMV F : complément minéral et vitaminique pour la phase de finition.

La complémentation alimentaire en vitamine C a été appliquée, pour les lots C et AVC, du 29^{ème} jour d'âge jusqu'à l'abattage à 50 jours. La vitamine C utilisée dans cet essai est un

produit commercial destiné aux volailles, se présentant sous forme de poudre blanche qui a été mélangée à l'aliment de base à la dose de 400ppm.

VII. Températures d'élevage et modalités de l'acclimatation précoce

A l'arrivée, les poussins d'1 jour ont été placés à une température ambiante de 34°C. Celle-ci a été abaissée graduellement de 1°C quotidiennement pour atteindre 30°C à 5 jours d'âge, date à laquelle les poussins sont acclimatés.

Le traitement d'acclimatation précoce a été réalisé en exposant les animaux du groupe A et AVC à une température élevée, sur une durée de 24 heures entre le 5ème et le 6ème jour d'âge. En pratique, au matin du 5ème jour d'élevage à 9h00, les poussins du lot A et AVC ont été transportés vers le petit bâtiment d'élevage, initialement préchauffé. Ainsi, à l'introduction des poussins, la température ambiante du bâtiment était de 30°C puis elle a été augmentée à 38°C±1 en 4 heures, soit +2°C par heure. Les poussins ont été maintenus sous cette température jusqu'au matin du 6ème jour à 9h00, où ils ont été reconduits vers leurs parquets respectifs dans le grand bâtiment. La figure 10 montre l'évolution de la température ambiante, durant les 24 heures d'acclimatation.

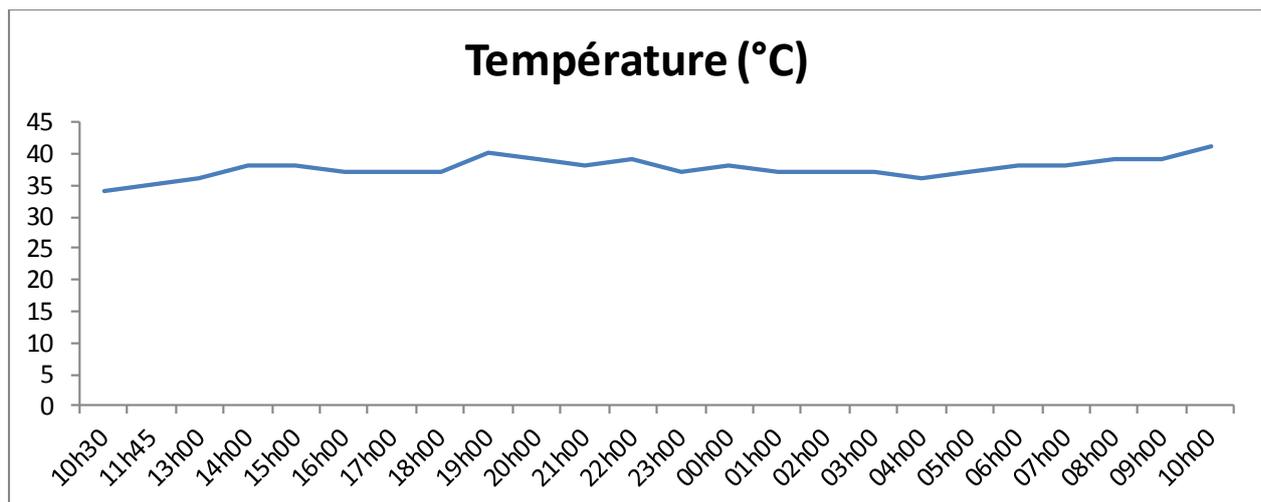


Figure 10. Evolution de la température ambiante durant les 24 heures du traitement d'acclimatation précoce.

Durant le reste de la période d'élevage, les animaux sont soumis aux variations naturelles de la température estivale. En vue d'apprécier cette dernière, trois thermo-hygromètres ont été placés à 2 mètres du sol à l'entrée, au milieu et au fond du bâtiment. Six autres thermomètres (3 par rangée de parquets) ont été également placés à 30 cm du sol, en

vue de relever les températures au niveau de l'aire de vie des animaux, pendant la journée. **Au 50^{ème} jour d'âge**, tous les groupes sont soumis à un coup de chaleur par une élévation de la température ambiante jusqu'à 35°C sur une période de 6 heures (stress thermique final provoqué).

VIII. Programme sanitaire d'élevage

Le protocole sanitaire suivi lors de notre essai est représenté dans le tableau 09.

Tableau 9. Programme prophylactique appliqué durant l'essai.

Age en jours	Traitement appliqué
1	Antibiotiques pendant 3 jours.
4	✓ Vaccination contre la maladie de New Castle (souche vaccinale HB1) ✓ Vaccination contre la bronchite infectieuse (souche vaccinale Bromipra 1)
10	Vitamines (ADE3) pendant 5 jours.
15	Vaccination contre la maladie de Gumboro (souche vaccinale IBDL)
17	Traitement anticoccidien pendant 5 jours.
24	Antistress pendant 3 jours.
25	Rappel de vaccination contre la maladie de New Castle (souche La Sota)
29	Antistress.
36	Traitement anticoccidien pendant 5 jours + Vitamine E.

IX. Mesures réalisées

IX.1. Relevé de température et d'humidité

Le relevé quotidien de la température et de l'humidité dans le bâtiment d'élevage est réalisé cinq fois par jour, autrement dit à: 8 heure du matin, 10 heure, midi, à 14 heure, et enfin à 18 heure.

IX.2. Les performances zootechniques

IX.2.1. L'ingéré alimentaire

L'ingéré alimentaire est calculé à la fin des trois phases d'élevage à savoir, la phase le démarrage (J1-J10), la croissance (J10-J42) et la finition (J42-J49) en utilisant la formule suivante :

$$\text{Quantité d'aliment ingéré (g)} = \text{quantité distribuée (g)} - \text{refus (g)}$$

IX.2.2. Le poids vif

En vue d'apprécier l'évolution du poids vif, chaque lot expérimental est pesé à la fin des différentes phases (J10, J42, J49). Le poids individuel est obtenu en divisant le poids total des animaux de chaque parquet sur son effectif.

IX.2.3. Indice de conversion

Le calcul de ce paramètre se fait en appliquant la formule suivante :

$$\text{Indice de conversion} = \text{Ingéré alimentaire} / \text{Gain de poids}$$

IX.2.4. La mortalité

Le relevé quotidien de la mortalité est effectué au début de chaque journée. Le taux de mortalité par phase d'élevage est calculé en appliquant la formule suivante :

$$\text{Taux de mortalité (\%)} = \frac{\text{le nombre de poulets morts} \times 100}{\text{Effectif présent en début de phase}}$$

IX.3. Le rendement de carcasse

A l'âge de J49, 10 individus mâles ayant un poids représentatif de leur lot, sont prélevés à partir de chaque groupe (2 sujets par parquet). Ces animaux sont alors sacrifiés par saignée puis plumés. Enfin, les intestins sont enlevés et les carcasses sont mises à +4°C pour le ressuage. Le lendemain, une série d'opérations est effectuée sur chaque carcasse comme suit :

- Pesée du foie du cœur et du gésier vide
- Pesée du gras abdominal
- Pesée de la carcasse prête à cuire (sans tête ni pattes et avec seulement les reins dans la cavité abdominale)

IX.4. Morphométrie des Organes lymphoïdes

Dix mâles ont été prélevés à partir de chaque lot expérimental (2 sujets par parquet). Les oiseaux sont pesés puis sacrifiés. Après autopsie, les bourses de Fabricius, les thymus et les rates sont prélevées, examinées et pesées.

IX.5. Mesure de la température corporelle

A J36, J42 et à J49, 2 mâles par parquet (soit 10 mâles par traitement) ont été bagués à la patte droite, et mis à jeun dans un coin du bâtiment. Le lendemain, 3 heures après le début de l'application du choc thermique, la température cloacale a été mesurée chez les individus mis à jeun, ainsi que chez le même nombre de leurs congénères nourris, à l'aide de thermomètres médicaux électronique (figure 11).



Figure 11. Prise de la température rectale.

IX.6. Mesure des paramètres hématologiques et biochimiques

Les prélèvements de sang ont été effectués à J49, à l'heure la plus chaude de la journée (entre 12 heures et 13 heures) sur 10 mâles par traitement (2 par parquet), ayant un poids vif moyen représentatif de leur groupe.

Le sang a été collecté après une mise à jeun préalable d'environ 12 heures. Deux échantillons de sang (± 3 ml) ont été collectés par saignée, dans un tube contenant de l'EDTA, destiné pour déterminer les valeurs d'hémoglobine, de l'hématocrite, le nombre de globules rouges (GR) et celui des plaquettes sanguines. Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un appareil automatisé, ERMA PCE-21 ON.



Figure 12. Analyseur automatique utilisé pour la mesure des paramètres sanguins (ERMA PCE-21 ON)

X. Etude statistique

Les différents résultats sont décrits par la moyenne et l'erreur standard (SE, calculée à partir de la déviation standard SD selon la formule $SE = SD/n^{0,5}$; n étant le nombre de répétitions). L'homogénéité de la variance entre traitements a été vérifiée par le test de Bartlett qui s'est avéré non significatif ($P > 0,05$). Les résultats ont été alors soumis à une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA 2) afin de déterminer **l'effet l'acclimatation précoce** et **l'effet de la supplémentation en vitamine C** sur les paramètres considérés. Le seuil de signification choisi est d'au moins 5%. Toutes ces analyses sont effectuées à l'aide du programme StatView (Abacus Concepts, 1996, Inc., Berkeley, CA94704-1014, USA).

L'objectif de notre essai était d'évaluer l'effet de l'acclimatation précoce, associée à la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les performances zootechniques et quelques paramètres physiologiques (qualité de la carcasse, organes lymphoïdes, et température rectale) du poulet de chair élevé en conditions estivales algériennes.

I. Paramètres d'ambiance

Les valeurs moyennes des conditions d'ambiance (température ambiante et hygrométrie relative) relevées lors de l'essai, sont reportées dans le tableau 10 et illustrées dans les figures 13, 14 et 15.

Il apparaît que, durant tout l'essai, les valeurs moyennes de la température ambiante (T_a), étaient d'environ $27,9^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ avec une T_a minimale de $26,9^{\circ}\text{C}$ et une T_a maximale de 29°C . Quant à la température de l'aire de vie, elle était d'environ $30^{\circ}\text{C} \pm 0,6$ avec une minimale de 28°C et une maximale de $31,5^{\circ}\text{C}$. L'hygrométrie relative était en moyenne de $58,4\% \pm 0,5$. Ces conditions d'ambiance placent les animaux dans des conditions de stress thermique chronique.

Tableau 10. Valeur moyennes, minimales (Min) et maximales (Max) de la température ambiante et de l'aire de vie ($^{\circ}\text{C}$) et de l'hygrométrie relative (%), enregistrées durant l'essai.

	Température Aire de vie ($^{\circ}\text{C}$)			Température Ambiante ($^{\circ}\text{C}$)			Hygrométrie Relative (%)		
	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
Périodes (Jours)									
J28-J42	29,4	$30,3 \pm 0,6$	31,5	27,1	$28,0 \pm 0,6$	29,0	57,4	$58,4 \pm 0,5$	59,5
J42-J49	28,0	$29,4 \pm 0,5$	30,8	26,9	$27,6 \pm 0,4$	28,8	57,8	$58,6 \pm 0,4$	59,9
J28-J49	28,0	$30,0 \pm 0,6$	31,5	26,9	$27,9 \pm 0,5$	29,0	57,4	$58,5 \pm 0,5$	59,9

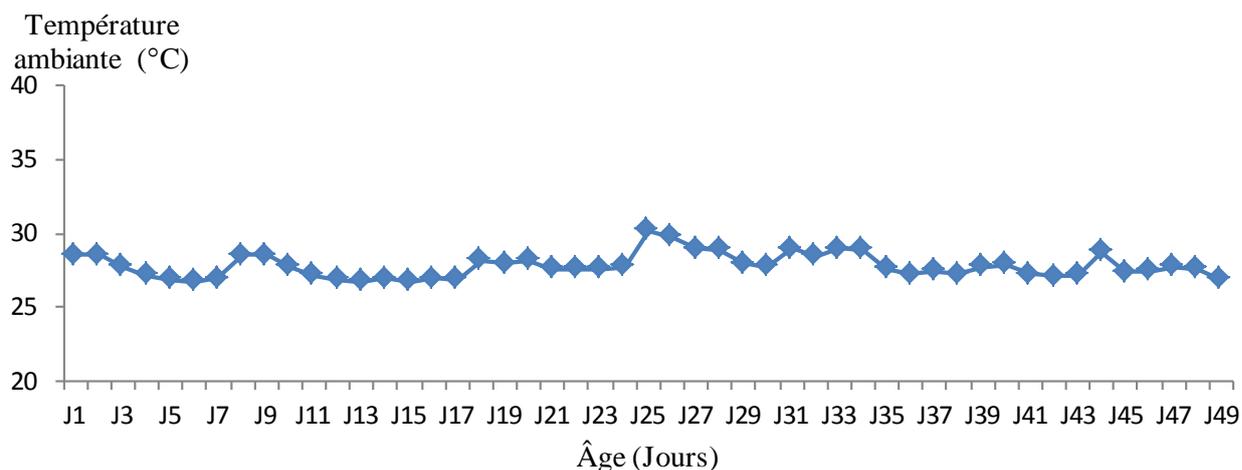


Figure 13. Evolution de la température ambiante (°C) à l'intérieur du bâtiment d'élevage entre J1 et J49.

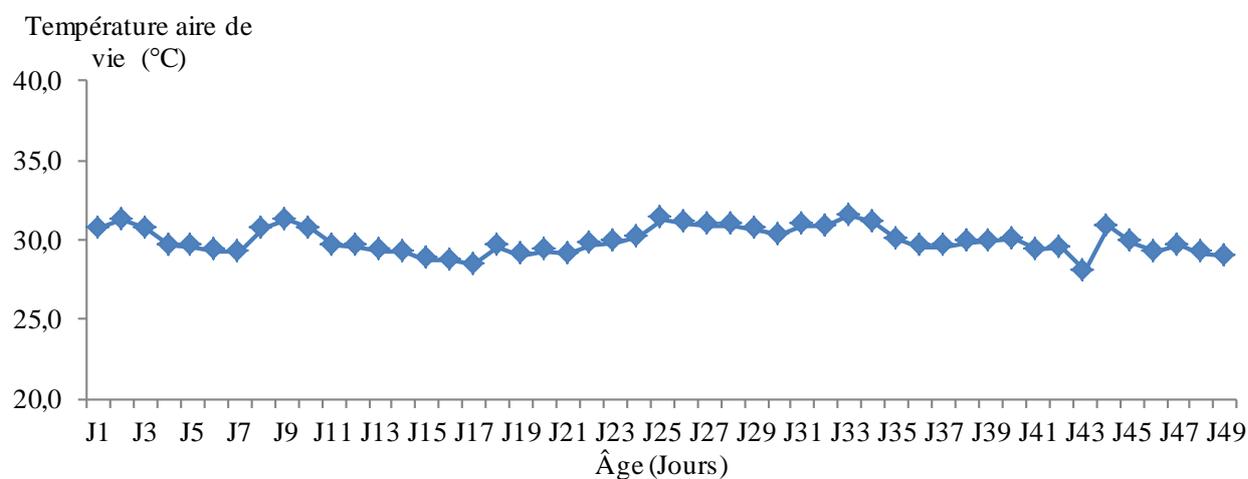


Figure 14. Evolution de la température au niveau de l'aire de vie (°C) à l'intérieur du bâtiment d'élevage entre J1 et J49.

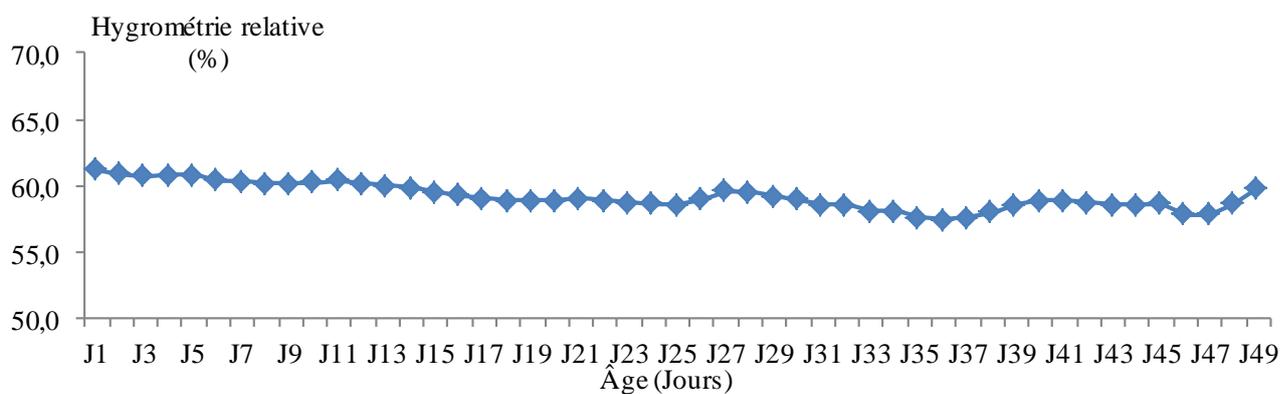


Figure 15. Evolution de l'hygrométrie relative (%) à l'intérieur du bâtiment d'élevage durant l'expérimentation (J1-J49).

II. Performances de croissance

II.1. Poids vif et gain de poids

Les résultats relatifs aux poids vifs et aux gains de poids mesurés durant l'essai sont reportés dans le tableau 11 et la figure 16.

L'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA2) ne montre aucun effet significatif de l'acclimatation ou de la supplémentation en vitamine C sur les poids vifs (PV) et les gains de poids des quatre groupes (T, AT, VC, AVC) quelque soit la période considérée de l'essai, à l'exception de la phase J28-J42 et J28-J49 où l'effet acclimatation tend à être significatif pour le gain de poids ($p=0,14$ et $0,20$ respectivement).

Au début de la période expérimentale (J28), les poulets des différents lots expérimentaux avaient des poids vifs initiaux quasi similaires ($1049,5 \pm 31,0$).

L'acclimatation précoce n'a pas significativement modifié les gains de poids des poulets témoins quelque soit la période considérée : écarts non significatifs de 1,5% en moyenne entre les poulets des groupes T/AT ($p>0,66$).

En revanche, chez les poulets supplémentés en vitamine C, ce traitement a significativement réduit le gain de poids entre J28 et J49 (-7% entre les groupes AVC et VC; $p<0,05$). Cette baisse de croissance résulte de celle observée chez ces mêmes lots entre J28 et J42 (-11% ; $p<0,05$).

La supplémentation en vitamine C tend à améliorer le gain de poids des poulets non acclimatés entre J28 et J42 (+9% ; $p=0,07$) mais pas entre J42 et J49 (+1% ; NS). Ainsi, en considérant la période globale (J28-J49), le gain de poids des poulets du groupe (VC) semble supérieur à celui des poulets témoins (T) : +6% ($p=0,09$). Cette légère amélioration de la croissance induite par l'apport en vitamine C n'est pas retrouvée chez les poulets acclimatés : variations non significatives d'environ 3% ($p=0,35$).

L'association « acclimatation » et « supplémentation en vitamine C », n'a pas eu d'effet significatif sur le gain de poids, quelque soit la période considérée : -3% environ entre les poulets du groupe AVC et les témoins ($p>0,52$).

Tableau 11. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les poids vifs et les gains de poids des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; n=5 parquets de 22 sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Poids Vif (g)								
à J28	1039	1039	1036	1084	31	0,50	0,55	0,51
à J42	1923	1942	2001	1941	51	0,69	0,46	0,45
à J49	2435	2456	2518	2455	52	0,71	0,48	0,47
Gain de poids (g)								
de J28 à J42	884 ^{ab}	902 ^{ab}	965 ^a	857 ^b	29	0,14	0,55	0,05
de J42 à J49	512	514	516	513	21	0,98	0,94	0,92
de J28 à J49	1397 ^{ab}	1416 ^{ab}	1481 ^a	1371 ^b	31	0,20	0,57	0,07

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment. ⁽²⁾ Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l'âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h. ^{a-b} les moyennes par ligne suivies de lettres communes ne sont pas significativement différentes (p<0,05).

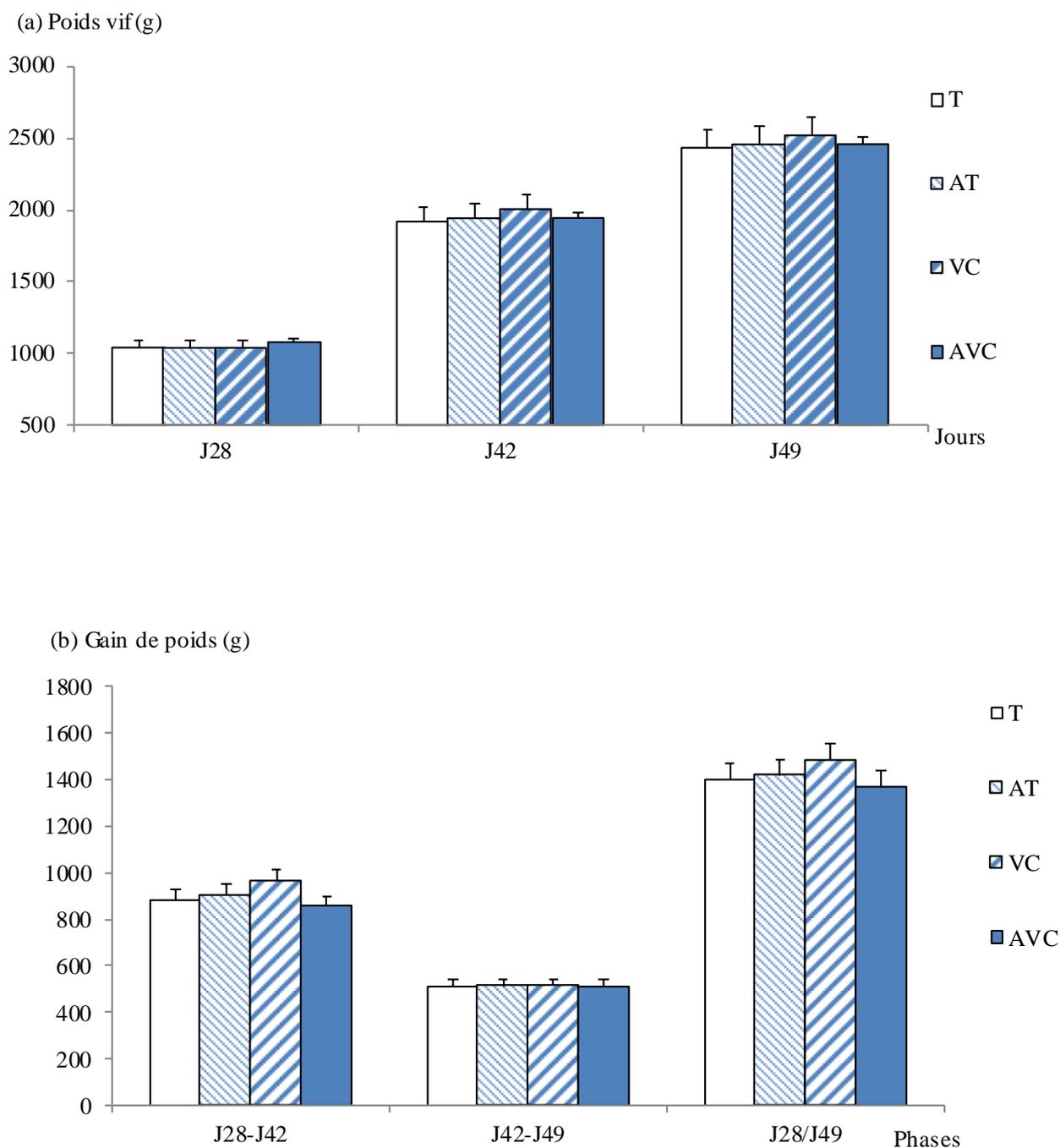


Figure 16. Evolution des poids vifs (a) et des gains de poids (b) des poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=5 parquets de 22 mâles).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

II.2. Ingéré alimentaire et indice de conversion

Les valeurs moyennes de l'ingéré alimentaire et celles de l'indice de conversion (IC : rapport entre la quantité d'aliment consommé et le gain de poids de la période considérée) mesurées au cours de l'essai sont présentées dans les tableaux ci-après (Tableau 12 et Figure 17).

D'après l'analyse statistique (ANOVA2), il n'y a aucun effet significatif des deux facteurs, « acclimatation » et « supplémentation en vitamine C », sur les quantités d'aliments consommées par les poulets, et ce quelque soit la période considérée.

Pour l'indice de conversion, l'ANOVA2 révèle un effet significatif du facteur « acclimatation » pour la période J28-J42 ($p < 0,05$) et la période globale J28-J49 ($p = 0,13$).

En revanche, le facteur « supplémentation vitamine C » n'est pas significatif pour ce même paramètre. Notons néanmoins qu'il y'a une interaction significative ($p < 0,05$) des 2 facteurs appliqués sur l'IC pour la période J28-J42.

L'acclimatation précoce n'a pas modifié les IC chez les animaux nourris avec un aliment standard (écarts moyens NS de 1% entre les groupes AT & T). Par contre, chez les poulets supplémentés en vitamine C, l'acclimatation précoce a significativement altéré l'IC de la période J28-J42 (+13% ; $p < 0,01$) et donc celui de la période globale J28-J49 (+9% entre les groupes AVC & VC ; $p < 0,05$).

La supplémentation alimentaire en vitamine C semble réduire l'IC de la période J28-J42 (-6% ; $p = 0,09$) et donc l'IC de la période globale (J28-J49) chez les poulets non acclimatés (-4% entre les groupe VC & T ; $p = 0,20$).

A l'inverse, chez les poulets acclimatés, l'ajout de vitamine C dans l'aliment a affecté l'IC pour la période J28-J42 (+7% ; $p < 0,05$) ainsi que celui de la période globale J28-J49 (+5% ; $p = 0,11$).

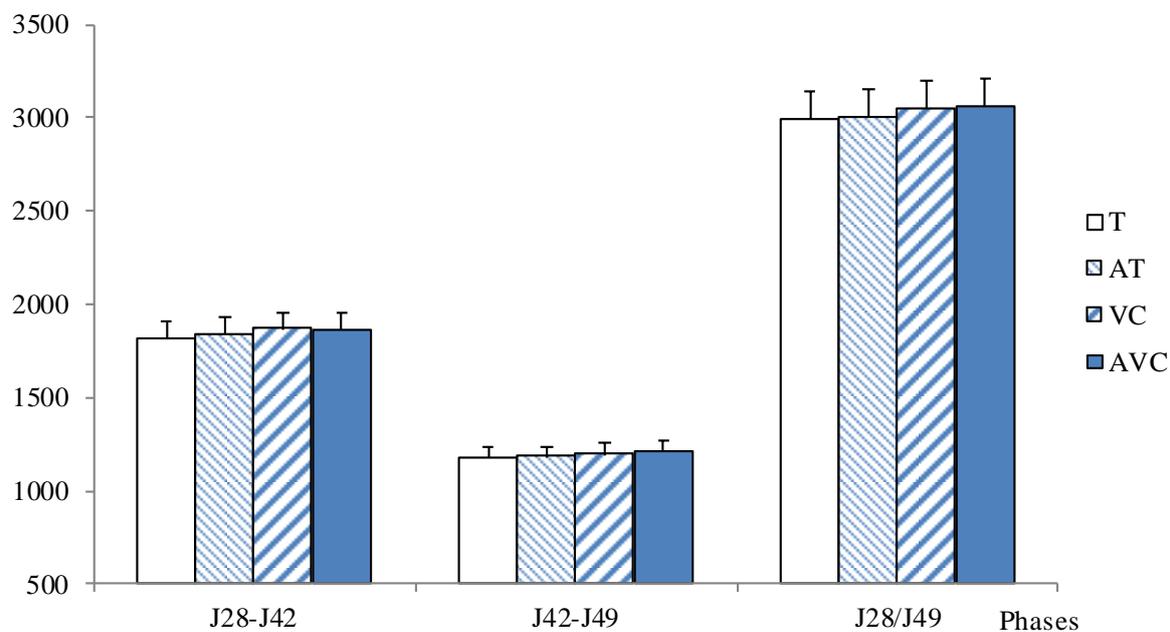
De manière similaire, l'association de l'acclimatation avec la supplémentation en vitamine C a légèrement augmentée l'IC des poulets (du lot AVC) par rapport aux animaux du groupe T (+4%). Mais cette augmentation n'atteint pas la limite de signification statistique ($p = 0,19$).

Tableau 12. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur l'ingéré et l'indice de conversion alimentaires des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; n=5 parquets de 22 sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Ingéré alimentaire (g)								
de J28 à J42	1823	1836	1866	1867	45	0,88	0,43	0,90
de J42 à J49	1180	1180	1196	1210	38	0,86	0,58	0,85
de J28 à J49	2989	3000	3046	3059	79	0,89	0,49	0,99
Indice de conversion (g/g)								
de J28 à J42	2,07 ^{ab}	2,04 ^{ab}	1,94 ^a	2,19 ^b	0,05	<0,05	0,87	<0,05
de J42 à J49	2,31	2,32	2,34	2,36	0,10	0,88	0,77	0,98
de J28 à J49	2,14 ^{ab}	2,12 ^{ab}	2,06 ^a	2,23 ^b	0,05	0,13	0,74	0,06

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment. ⁽²⁾Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l'âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h. ^{a-b} les moyennes par ligne suivies de lettres communes ne sont pas significativement différentes (p<0,05).

(a) Ingéré alimentaire (g)



Indice de conversion (g)

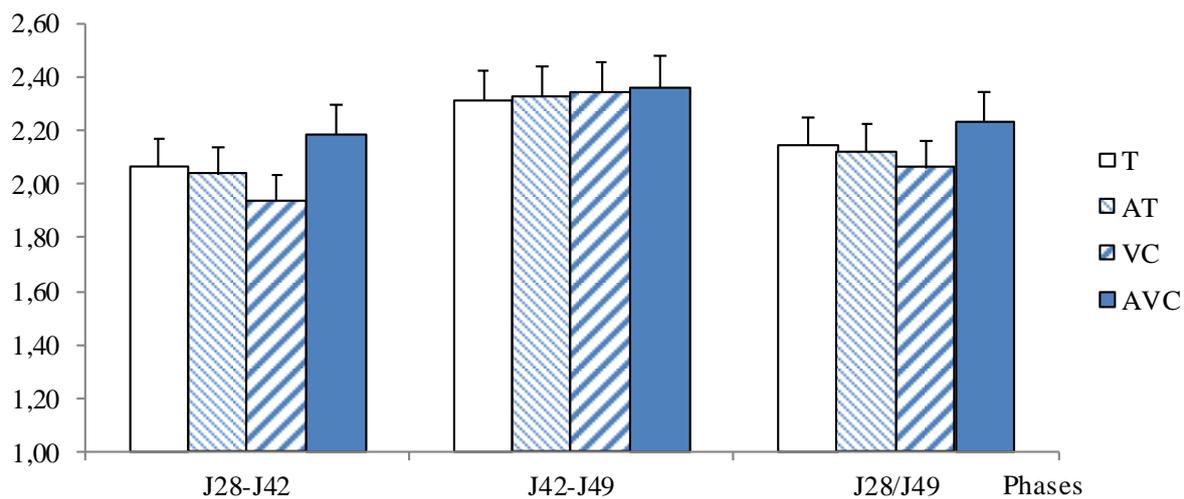


Figure 17. Evolution de l'ingéré (a) et de l'indice de conversion (b) alimentaires des poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=5 parquets de 22 mâles).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

III. La mortalité

Les taux de mortalité relevés durant la période expérimentale sont présentés en prenant en compte deux aspects : ceux liés au stress thermique chronique (exposition aux fluctuations naturelles de la chaleur estivale entre J28-J49), et ceux liés au stress thermique aigu provoqué en fin d'élevage, soit à l'âge de J50 (Tableau 13 ; figure 18).

D'après l'ANOVA2, les facteurs « acclimatation » et « supplémentation en vitamine C » ne sont pas significatifs pour les taux de mortalités des périodes J28-J42 et J42-J49, alors que pour la période globale, l'effet « supplémentation en vitamine C » est significatif pour ce même paramètre ($p < 0,05$).

En effet, dans nos conditions, les taux de mortalité relevés durant les différentes périodes de l'essai ne sont pas significativement différents entre les 4 groupes, et ce pour les deux périodes d'élevage (J28-J42 et J42-J49). Néanmoins, si l'on considère la mortalité globale entre J28 et J49, il apparaît que les poulets acclimatés et supplémentés en vitamine C présentent des taux de mortalité significativement supérieurs (environ 3 fois plus ; $p < 0,05$) à ceux des poulets du groupe T.

Concernant la mortalité liée au stress thermique aigu appliqué au 50^{ème} jour d'âge (6 heures à 35°C), l'analyse statistique montre un effet hautement significatif du facteur « acclimatation » sur ce paramètre. Ainsi, les pertes enregistrées en termes de mortalité chez les poulets acclimatés sont nettement inférieures à celles des poulets non acclimatés témoins (-89% ; $p < 0,001$), ou ceux supplémentés en vitamine C (-43% ; $p = 0,20$).

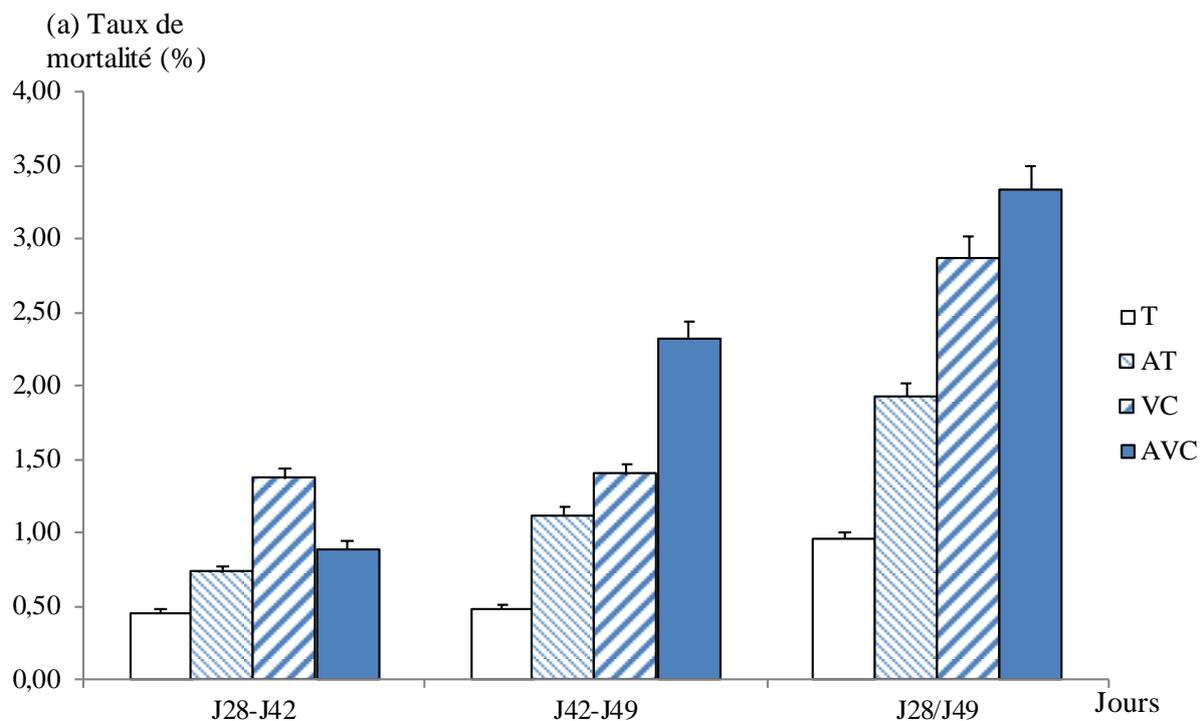
L'addition de vitamine C dans l'aliment tend à réduire les taux de mortalité des poulets non acclimatés (-28% entre les groupes VC & T ; $p = 0,24$), alors que les poulets acclimatés cette supplémentation semble augmenter ce paramètre (presque 4 fois plus ; $p = 0,21$).

En comparant les taux de mortalité relevés chez les poulets du groupe AVC par rapport à ceux du groupe T, il apparaît que l'association des deux traitements réduit ce paramètre de -59% ($p < 0,05$).

Tableau 13. Effet de l’acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les taux de mortalité relevés durant l’essai chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; n=5 parquets de 22 sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Mortalité (%)								
de J28 à J42	0,46	0,73	1,37	0,89	0,54	0,86	0,35	0,50
de J42 à J49	0,48	1,12	1,40	2,32	0,62	0,24	0,12	0,83
de J28 à J49	0,95 ^a	1,92 ^{ab}	2,87 ^{ab}	3,33 ^b	0,69	0,36	<0,05	0,74
à J50 ⁽³⁾	40,58 ^a	4,31 ^c	29,18 ^{ab}	16,53 ^{bc}	5,42	<0,01	0,95	0,09

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l’âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l’aliment. ⁽²⁾Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l’âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h. ⁽³⁾Stress thermique final : exposition des poulets à l’âge de 50j à une Ta de 35°C pendant 6h. ^{a-c} les moyennes par ligne suivies de lettres communes ne sont pas significativement différentes (p<0,05).



(b) Taux de mortalité à J51 (%)

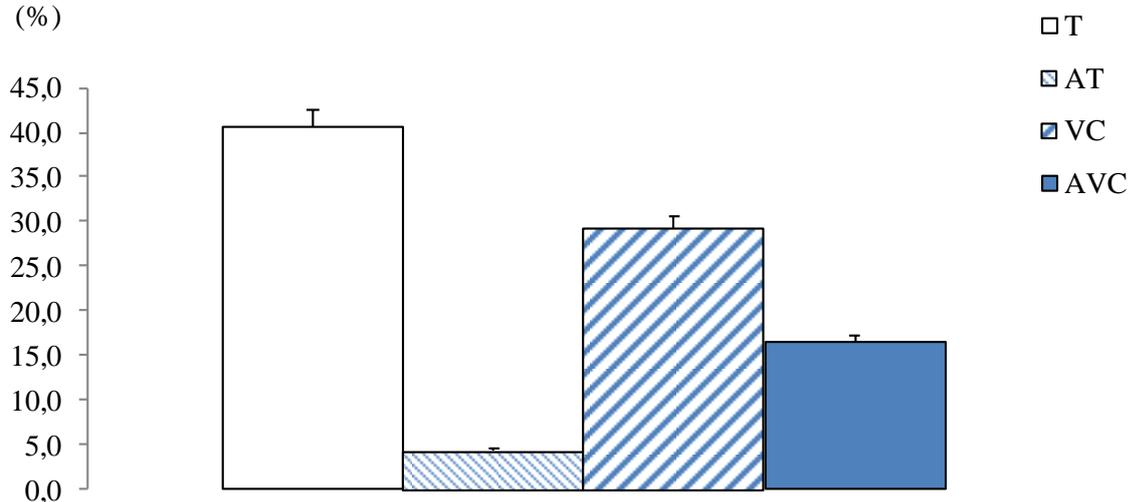


Figure 18. Représentation graphique de la mortalité durant l'essai (a) ou suite au stress thermique aigu provoqué à J50 (b) des poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=5 parquets de 22 mâles).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

IV. Le rendement de carcasse

Les résultats présentés dans le tableau 14 et illustrés dans la figure 19 correspondent aux poids moyens de la carcasse prête à cuire (PAC), du foie, du cœur, du gras abdominal et du gésier vide, mesurés à la fin de l'essai (J51) et exprimés en pourcentage du poids vif des animaux.

D'après l'analyse statistique (ANOVA2), il n'y a pas d'effet significatif du facteur « acclimatation » ou du facteur « supplémentation en vitamine C » sur les proportions de la carcasse PAC ou des organes prélevés excepté pour le gras abdominal où l'effet acclimatation est hautement significatif ($p < 0,01$). Ainsi, l'acclimatation précoce réduit significativement la proportion du gras abdominal chez les poulets nourris avec l'aliment standard (-29% entre les groupes AT & T ; $p < 0,001$) ou supplémentés en vitamine C (-12% entre les groupes AVC & VC ; $p = 0,23$). Notons que la proportion de gras abdominal enregistré chez les poulets du groupe AVC semble également inférieure à celle des témoins (-13% ; $p = 0,22$).

Tableau 14. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les caractéristiques de la carcasse, mesurées à l'âge de 51j chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; $n = 10$ sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Paramètres (g/100g de PV)								
Carcasse PAC ⁽³⁾	68,81	68,56	69,92	69,23	0,92	0,65	0,39	0,83
Foie	2,11	1,95	2,03	1,88	0,13	0,26	0,57	0,98
Cœur	0,44	0,41	0,40	0,44	0,02	0,90	0,69	0,14
Gras abdominal	1,31 ^b	0,93 ^a	1,30 ^b	1,14 ^{ab}	0,09	<0,01	0,30	0,27
Gésier vide	1,33	1,33	1,36	1,44	0,05	0,48	0,20	0,47

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment. ⁽²⁾ Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l'âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h. ⁽³⁾ PAC : carcasse prête à cuire (effilée, sans tête ni pattes). ^{a-b} les moyennes par ligne suivies de lettres communes ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

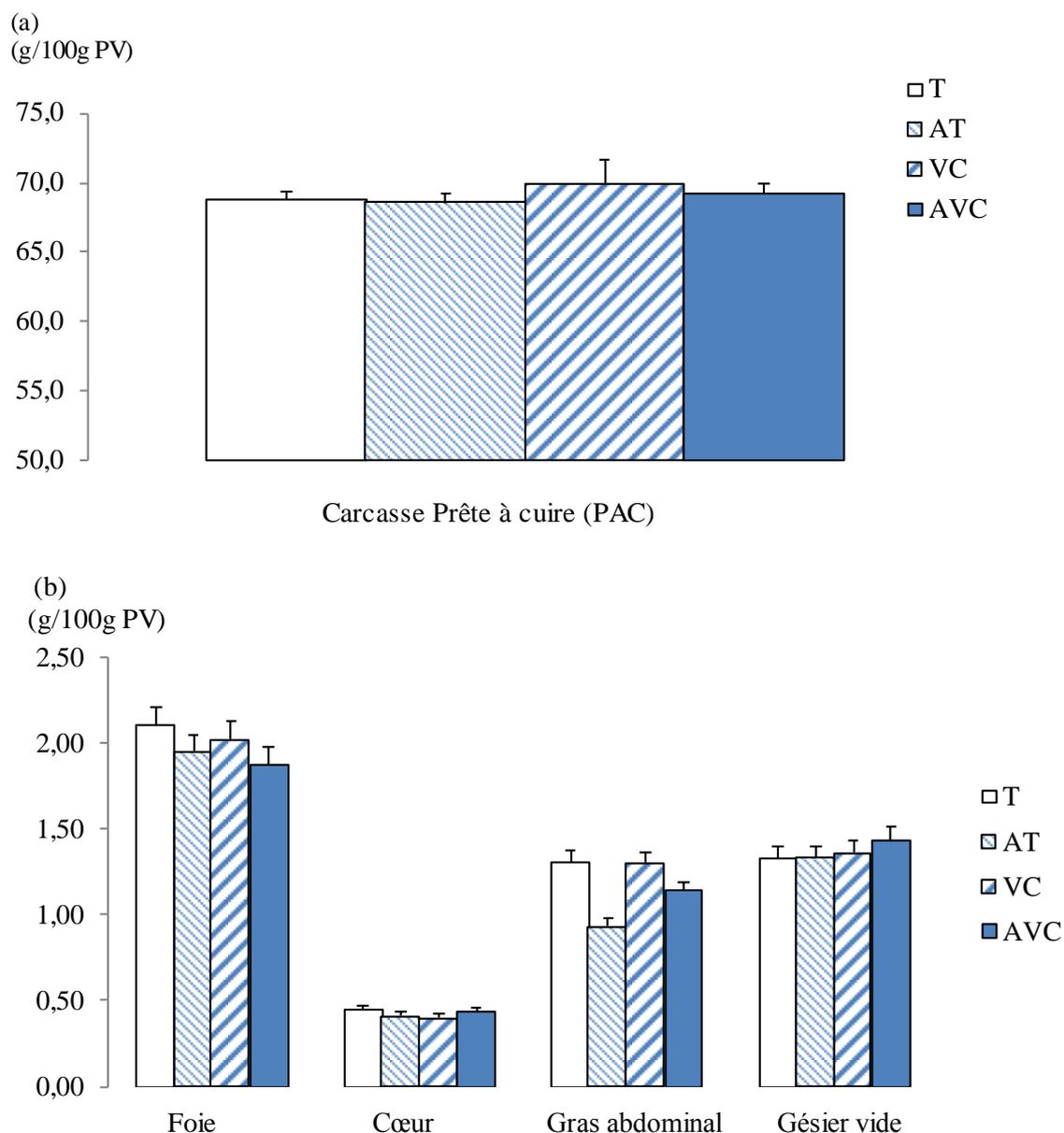


Figure 19. Représentation graphique des poids de la carcasse prête à cuire (a), du foie, du cœur, du gras abdominal et du gésier vide (b), en proportion du poids vif, chez les poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=10 sujets).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

V. Poids des organes lymphoïdes

Les poids moyens des organes lymphoïdes prélevés chez les poulets mâles des 4 lots expérimentaux (n=10) à l'âge de 49 jours sont présentés dans le tableau 15 et la figure 20.

Selon l'analyse statistique (ANOVA2), il n'y a pas d'effet significatif du facteur « acclimatation » ou « supplémentation en vitamine C » sur les poids des organes lymphoïdes qu'ils soient exprimés en valeurs absolues ou rapportés au poids vif de l'animal.

Notons néanmoins que l'effet « acclimatation » tend à être significatif pour la proportion de la bourse de Fabricius ($p=0,19$) et celle de la rate ($p=0,21$).

L'acclimatation précoce n'a pas significativement modifié les poids des thymus des poulets, qu'ils soient nourris avec l'aliment standard ou supplémentés en vitamine C. Par contre, elle semble accroître la proportion de la bourse Fabricius (BF) et celle de la rate chez les poulets, surtout lorsque ces derniers sont supplémentés en vitamine C.

En effet, les augmentations des poids de la BF et de la rate, exprimés en% du PV, sont respectivement de l'ordre de 44% ($p=0,13$) et de 17% ($p=0,16$) chez les poulets du groupe AVC comparés au groupe VC.

Ces variations sont de moindre amplitude chez les poulets du groupe AT comparés au groupe T (+10% et +4% respectivement pour la proportion de la BF et de la rate ; $p>0,50$).

Enfin, en comparant les lots AVC et T, il semble que l'association de l'acclimatation précoce avec la supplémentation en vitamine C accroît les proportions de la bourse de Fabricius (+32 ; $p=0,24$) et de la rate (+12% ; $p=0,25$) alors qu'elle n'a aucun effet sur celle du thymus.

Tableau 15. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur le poids des organes lymphoïdes prélevés à l'âge de 49j chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; n=10 sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Bourse de Fabricius								
(g)	1,51	1,65	1,37	1,84	0,26	0,28	0,93	0,54
(g/100g PV)	0,06	0,07	0,06	0,08	0,01	0,19	0,72	0,40
Thymus								
(g)	5,88	5,96	5,17	5,21	0,72	0,94	0,33	0,98
(g/100g PV)	0,23	0,24	0,21	0,23	0,03	0,66	0,50	0,85
Rate								
(g)	2,94	2,92	2,76	2,98	0,22	0,67	0,81	0,62
(g/100g PV)	0,12	0,12	0,11	0,13	0,01	0,21	0,81	0,45

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment. ⁽²⁾ Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l'âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h.

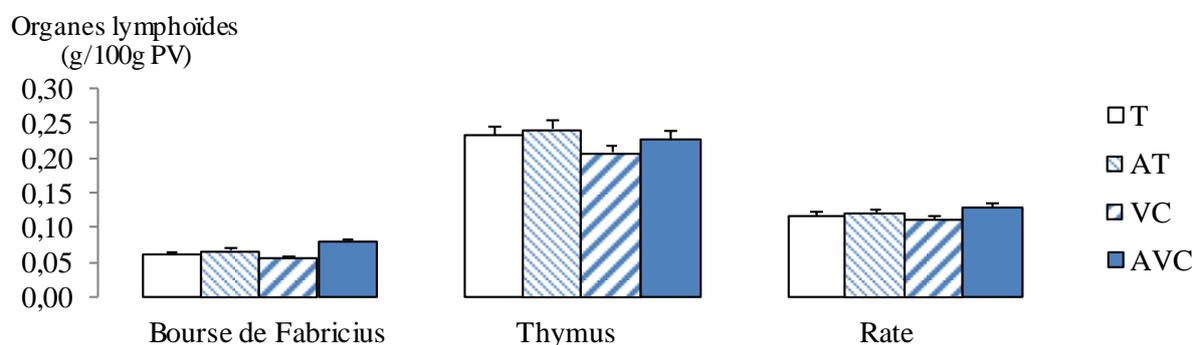


Figure 20. Représentation graphique des poids des organes lymphoïdes (g/100g du PV) chez les poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=10 sujets).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

VI. Paramètres hématologiques

Les résultats relatifs aux teneurs en hématocrite, hémoglobine, globules rouges et plaquettes au niveau du sang prélevé chez 10 sujets représentatifs de chaque groupe expérimental, à l'âge de 49j, sont présentés dans le tableau 16 et illustrés dans la figure 21.

L'analyse statistique (ANOVA2) ne révèle aucun effet significatif du facteur « acclimatation » sur les paramètres hématologiques étudiés, mise à part pour le nombre de plaquettes sanguines où cet effet tend à être significatif ($p=0,06$). A l'inverse, l'effet du facteur « vitamine C » est significatif sur l'hématocrite ($p<0,01$) et le nombre de GR ($p<0,05$) ; tendance statistique pour l'hémoglobinémie ($p=0,17$). Notons, qu'aucune interaction significative entre les deux facteurs appliqués n'est observée pour l'ensemble des paramètres hématologiques étudiés.

Tableau 16. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur les paramètres hématologiques mesurés, à l'âge de 49j, chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; $n=10$ sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Hématocrite (%)	26,7 ^{ab}	27,5 ^b	25,2 ^a	25,5 ^a	0,6	0,44	<0,01	0,71
Hémoglobine (g/dl)	8,68	8,53	8,23	8,27	0,25	0,82	0,17	0,71
Globules Rouges ($\times 10^6/\mu\text{l}$)	2,53	2,53	2,41	2,37	0,06	0,71	<0,05	0,77
Plaquettes ($\times 10^3/\mu\text{l}$)	16,4 ^a	12,5 ^b	13,7 ^{ab}	12,3 ^b	1,3	0,06	0,30	0,36

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment. ⁽²⁾ Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l'âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h. ^{a-b} les moyennes par ligne suivies de lettres communes ne sont pas significativement différentes ($p<0,05$).

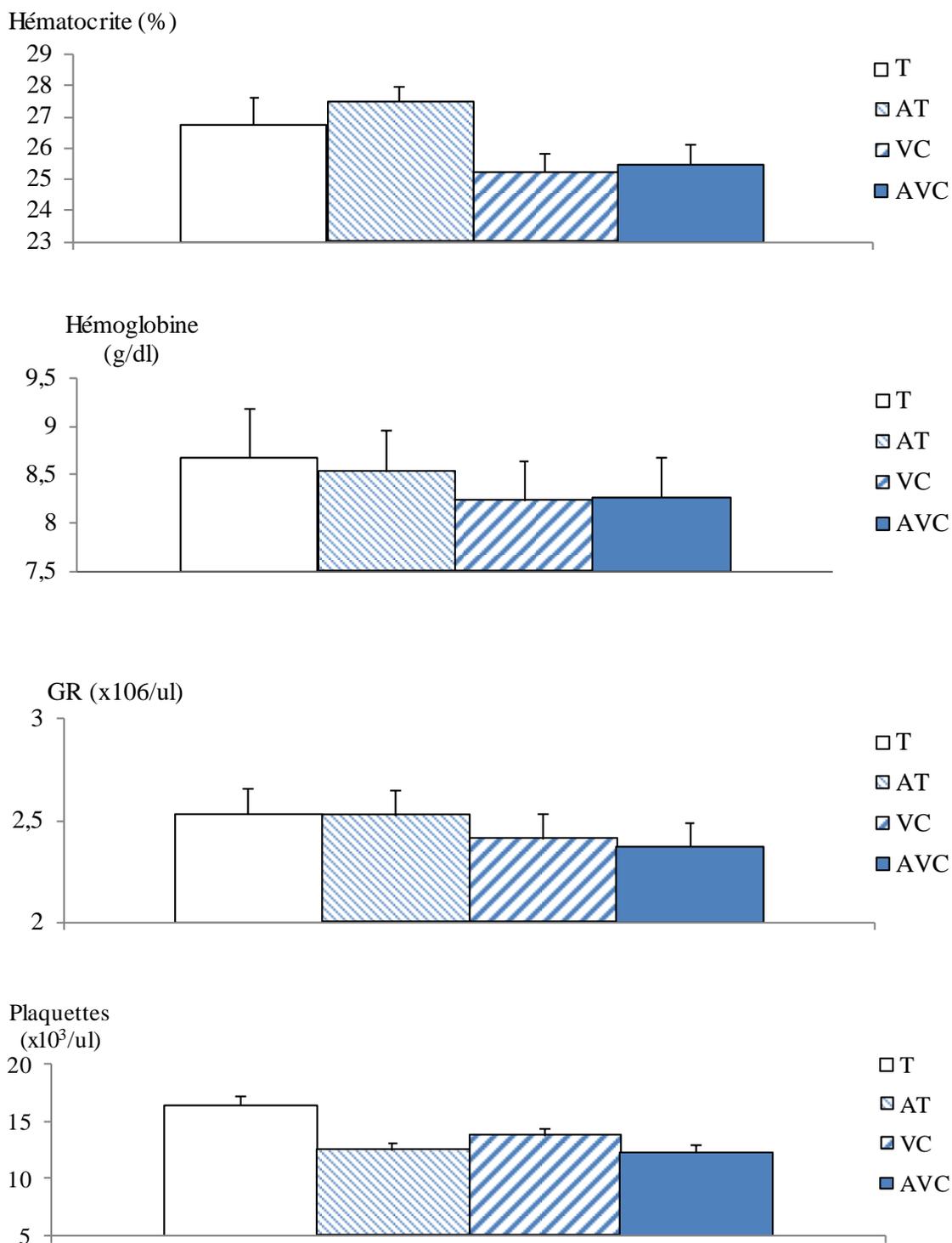


Figure 21. Représentation graphique des paramètres hématologiques mesurés à l'âge de 49j chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=10 sujets).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

Ainsi, les valeurs de l'hématocrite, de l'hémoglobine et du nombre de GR mesurées chez les poulets des groupes AT et AVC sont respectivement comparables à celles déterminées chez les sujets des groupes T et VC.

Par contre, le nombre de plaquettes sanguines est plus faible chez les poulets acclimatés. Cette baisse induite par l'acclimatation précoce est significative chez les poulets nourris avec l'aliment de base (-24% entre les poulets AT et T ; $p < 0,05$) ; alors qu'elle s'amoinde chez les poulets recevant l'aliment supplémenté en vitamine C (-10% entre les lots AVC et VC, $p > 0,05$).

Par ailleurs, chez les animaux non acclimatés, la supplémentation en vitamine C semble réduire les valeurs sanguines de l'hématocrite (-6% ; $p = 0,11$), de l'hémoglobine (-5% ; $p = 0,22$), des globules rouges (-5% ; $p = 0,18$) et des plaquettes (-16% ; $p = 0,12$).

Chez les animaux acclimatés, la supplémentation en vitamine C décroît les valeurs de l'hématocrite (-7% ; $p < 0,05$) et tend à réduire le nombre de GR (-6% ; $p = 0,08$) sans affecter celui des plaquettes (-1% ; NS) ou les teneurs en hémoglobine (-3% ; NS).

En comparant les groupes AVC et T, il semble que l'association de l'acclimatation précoce avec la supplémentation en vitamine C réduit les valeurs sanguines de l'hématocrite (-5% ; $p = 0,19$), de l'hémoglobine (-5% ; $p = 0,25$) et des globules rouges (-6% ; $p = 0,07$). La baisse devient significative pour le nombre de plaquettes sanguines (-25% ; $p < 0,05$).

VII. La température rectale

Le Tableau 17 et la figure 22 présentent les valeurs moyennes des températures rectales mesurées à l'âge de 36, 42 et 49 jours chez 10 poulets mâles représentatifs de chaque lot expérimental.

L'analyse de variance à 2 facteurs montre qu'il n'y a aucun effet significatif du facteur « acclimatation précoce » sur la température rectale et ce quelque soit l'âge des poulets. Une légère tendance statistique est toutefois observée pour l'effet de ce facteur sur la température rectale mesurée à J36 ($p = 0,19$). Concernant le facteur « supplémentation en vitamine C », son effet sur la température rectale n'est significatif qu'à l'âge de 49 jours ($p < 0,001$). Notons que, quelque soit l'âge de mesure, aucune interaction significative des 2 facteurs appliqués n'est à signaler.

Tableau 17. Effet de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C sur la température rectale mesurée à l'âge de 36, 42 et 49j chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes ; n=10 sujets ; SEM : erreur standard moyenne).

	Traitements expérimentaux ⁽¹⁾					ANOVA 2		
	T	AT	VC	AVC	SEM	AP ⁽²⁾	Vit C	Interaction
Température rectale (°C)								
à J36	42,44	42,50	42,40	42,68	0,12	0,19	0,58	0,56
à J42	42,67	42,54	42,61	42,76	0,13	0,94	0,55	0,30
à J49	42,49 ^a	42,61 ^{ab}	42,88 ^b	42,89 ^b	0,12	0,59	<0,01	0,65

⁽¹⁾ T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge. VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment. ⁽²⁾ Acclimatation Précoce : exposition des poussins à l'âge de 5j à une Ta de 38°C durant 24h. ^{a-b} les moyennes par ligne suivies de lettres communes ne sont pas significativement différentes (p<0,05).

Ainsi, nos résultats montrent qu'en absence de supplémentation alimentaire en vitamine C, les températures rectales mesurées chez les poulets témoins ou acclimatés ne sont pas statistiquement différentes : écarts non significatifs allant de -0,07°C à +0,12°C selon l'âge entre les groupes AT et T. De façon similaire, chez les sujets acclimatés et supplémentés en vitamine C, les augmentations de température rectales relevées n'atteignent pas le seuil minimal de signification statistique (p>0,43) sauf à J36 où l'écart de +0,28°C entre les poulets des lots AVC et VC tend à être significatif (p=0,13).

Par ailleurs, la supplémentation en vitamine C n'a pas modifié la température rectale des poulets non acclimatés, ni à l'âge de 36j (-0,04°C, p=0,82) ou à l'âge de 42j (+0,14°C ; p=0,75). En revanche, à l'âge de 49j, l'augmentation de la température rectale observée est significative entre les animaux du groupe VC et ceux du groupe T (+0,39°C ; p<0,05). Chez les poulets acclimatés, les élévations de températures rectales induites par l'ajout de vitamine C dans l'aliment n'atteignent pas le seuil de signification statistique : +0,18°C à 36j (p=0,33) ; + 0,22°C à J42 (p>0,25) et + 0,28°C à J49 (p=0,11) chez les poulets du groupe AVC comparés à ceux du groupe AT.

Enfin, la comparaison des valeurs de températures rectales mesurées chez les poulets des groupes AVC et T révèle que les variations induites par l'association de l'acclimatation avec la supplémentation en vitamine C ne sont significatives qu'à l'âge de 49 jours (+0,4°C ; $p < 0,05$).

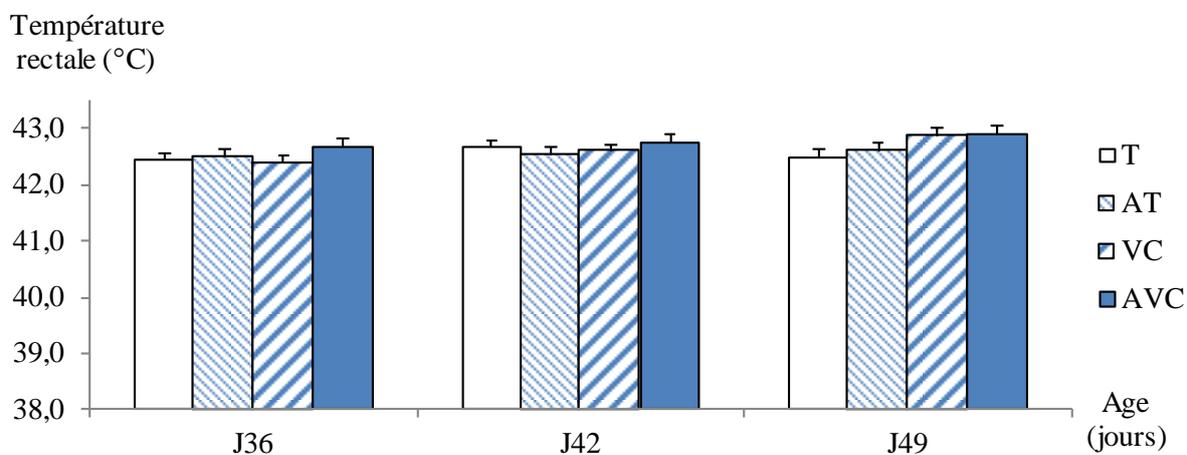


Figure 22. Evolution de la température rectale, mesurée à l'âge de 36, 42 et 49j chez des poulets mâles élevés au chaud (moyennes \pm SE ; n=10 sujets).

T & AT : poulets non acclimatés ou Acclimatés nourris avec un aliment standard adapté à l'âge.
VC et AVC : poulets non acclimatés ou Acclimatés supplémentés avec 400 ppm de Vitamine C dans l'aliment.

Le présent essai a été mis en place pour évaluer l'intérêt d'associer l'acclimatation précoce et la supplémentation alimentaire en vitamine C, en vue d'améliorer la thermotolérance et la croissance des poulets de chair élevés en conditions estivales algériennes. L'association de ces deux solutions, d'ordre technique et nutritionnel, visait à rechercher un éventuel effet bénéfique cumulé sur les performances du poulet soumis au stress thermique. A notre connaissance, une telle association n'a pas été testée auparavant dans ces conditions d'ambiance.

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...Aspects méthodologiques

Les volailles ont la capacité de synthétiser l'acide ascorbique, mais cette capacité est insuffisante en conditions de stress, telles que des températures environnementales chaudes et une humidité élevée (PARDUE et THAXTON, 1986). Ces auteurs rapportent que certains stress environnementaux peuvent modifier l'utilisation ou la synthèse de l'acide ascorbique chez la volaille et concluent de ce fait que l'apport de vitamine C est nécessaire chez les volailles lors de stress thermique. Dans cette expérimentation, la supplémentation alimentaire en vitamine C a débuté à l'âge de 28 jours, âge auquel s'accroît la sensibilité du poulet à la chaleur (AUSTIC, 1985). La dose administrée de cet additif (400ppm) a été préalablement testée par d'autres auteurs (NJOKU, 1986 ; AENGWANICH *et al.*, 2003 ; McKEE et HARRISSON, 2013) et tient compte de la baisse d'ingéré induite par l'exposition chronique à la chaleur ambiante (TESSERAUD et TEMIM, 1999).

L'acclimatation précoce appliquée dans notre étude correspondait à un 1^{er} stress thermique aigu effectué au 5^{ème} jour d'âge (38°C pendant 24 heures). Un 2^{ème} stress thermique aigu tardif (35°C pendant 6 heures) a été ensuite appliqué à l'âge de 50 jours afin d'évaluer l'effet différé de l'acclimatation précoce sur la mortalité et les performances de croissance. Ce modèle expérimental a été testé auparavant en conditions d'élevage algériennes (BEDRANI, 2009) et dans des conditions d'élevage tropicales (DE BASILIO *et al.*, 2001) et a eu dans les deux situations un impact positif sur la mortalité des poulets en finition.

Durant la période séparant les deux stress thermiques aigus provoqués (au 5^{ème} et au 50^{ème} jour d'âge), les poulets étaient soumis aux fluctuations naturelles de la température ambiante estivale afin de reproduire les conditions réelles rencontrées sur le terrain.

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...Conditions d'ambiance durant l'étude

Les températures d'élevage (ambiante et aire de vie) enregistrées au cours de notre essai variaient de 28°C à 31°C (avec une moyenne de 29°C) indiquant une plage de valeurs toutes au-dessus de la zone de thermoneutralité (20-22 °C) pour des poulets de chair de plus de 4 semaines (CHARLES, 2002). Aussi, ces conditions révèlent une exposition permanente des animaux à un stress thermique chronique. En effet, des réponses comportementales comme le halètement, la position accroupie près des surfaces froides et un large déploiement des ailes, ont été observées au cours de la période expérimentale. Selon GRAY *et al.* (2003), le halètement se produit lorsque la température ambiante est proche ou supérieure à 29-30 °C.

En outre, des valeurs de 57 à 60% (58,5% en moyenne) d'humidité relative ont été observées. Il a été signalé qu'une forte humidité supérieure à 60 gêne la transmission de la chaleur interne du corps vers la périphérie à 35 °C, mais la facilite à 30 °C chez les poulets de chair âgés de 4 semaines (LIN *et al.*, 2006).

Nos conditions d'ambiance indiquent que les poulets ont été soumis à des températures chaudes et à un environnement modérément humide.

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...quel impact sur les performances de croissance ?

Au vu de nos résultats, l'acclimatation précoce n'a pas permis d'améliorer significativement la croissance ou l'ingéré des poulets mâles soumis à la chaleur estivale. Avec un modèle d'acclimatation précoce similaire, BEDRANI (2009) ne trouve pas de modification au niveau de la consommation alimentaire mais signale une amélioration significative du gain de poids cumulé entre J1 et J49 (+5%, $p < 0,05$) et de l'indice de conversion (2,22 *vs.* 2,31) chez les poulets acclimatés (sexes mélangés). Une telle amélioration de la croissance n'est pas retrouvée chez des poulets de sexe mâle élevés dans des conditions tropicales (DE BASILIO, 1999 ; DE BASILIO *et al.*, 2001), ce qui suggère l'existence probable d'un effet sexe-dépendant de l'acclimatation précoce sur la croissance de l'animal. En effet, dans l'essai de BEDRANI (2009), l'amélioration globale du poids vif au terme de l'essai était surtout attribuée à une meilleure réponse des femelles.

Par ailleurs, dans notre étude, les indices de conversion alimentaire, reflet de l'efficacité de transformation alimentaire, étaient quasi-similaires chez les poulets mâles acclimatés et les témoins (2,12 vs. 2,14). Pourtant, avec les mêmes modalités d'acclimatation précoce appliquées dans l'essai de BEDRANI (2009), de meilleurs indices de conversion étaient obtenus (-4%, $p < 0,05$), en relation avec l'augmentation du gain de poids sans variation de la consommation alimentaire. Cette meilleure efficacité de transformation de l'aliment trouvée dans ces conditions serait liée à une meilleure utilisation digestive chez les animaux acclimatés qui ont présenté, des longueurs d'intestins et des hauteurs et volumes de villosités (au niveau duodénal et iléal) supérieurs à ceux des poulets témoins, reflétant une plus grande surface d'absorption des nutriments (BEDRANI 2009).

Concernant la supplémentation alimentaire en vitamine C, dans nos conditions d'essai, l'ajout de 400ppm de vitamine C dans l'aliment semble améliorer la croissance (+6%, $p = 0,09$) et l'indice de conversion alimentaire (-4%, $p = 0,25$) sans modifier la consommation d'aliment. L'amélioration de la croissance des poulets soumis au stress thermique en réponse à une supplémentation en vitamine C a été rapportée par d'autres auteurs (NJOKU, 1986 ; KUTLU et FORBES, 1993 ; SAHIN *et al.*, 2003 ; FAROOQI *et al.*, 2005). Des réponses positives ont été aussi obtenues lorsque la vitamine C était associée à d'autres électrolytes (ROUSSAN *et al.*, 2008). D'autres études par contre ne trouvent pas de variations significatives des performances de croissance des poulets soumis au stress thermique suite à la supplémentation en vitamine C seule (McKEE *et al.*, 1997 ; MAJEKODUNMI *et al.*, 2012 ; McKEE et HARISSON, 2013) ou associée à un retrait diurne de l'aliment (DAHMANI, 2009).

En définitive, face à la supplémentation en vitamine C lors de stress thermique, l'amplitude des réponses des poulets en termes de performances de croissance reste variable selon les études. Ceci pourrait s'expliquer probablement par l'amplitude et la durée de l'élévation des températures ambiantes (stress thermique aigu ou chronique, constant ou cyclique ...), la dose de vitamine employée (entre 200 et 1000 ppm) et les souches animales (lourdes, légères, sélectionnées ou rustiques...) utilisées dans les différentes études.

Finalement, l'association de l'acclimatation précoce et de la supplémentation alimentaire en vitamine C testée dans nos conditions n'a pas eu l'impact positif escompté en termes d'amélioration des performances induite par un effet bénéfique cumulé des 2

traitements. En effet, le gain de poids, l'ingéré et l'indice de conversion des poulets acclimatés et supplémentés en vitamine C étaient comparables aux sujets témoins.

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...quel impact sur la mortalité liée au stress thermique chronique ?

Globalement, les taux de mortalité cumulés relevés durant la période d'élevage entre J28 et J49, c'est-à-dire ceux liés au stress thermique chronique, ne dépassaient pas les 3% chez l'ensemble des groupes de poulets. Ces taux s'inscrivent dans le même ordre de ceux habituellement enregistrés au sein de la station ITELV de Baba Ali en période tempérée (HAMMAMI, 2009 ; DOUMANDJI, 2011) mais sont plus faibles que ceux relevés par BEDRANI (2009) chez les poulets acclimatés et témoins élevés au chaud (5% en moyenne). Ces différences sont peut-être liées au fait que la Ta diurne moyenne de notre essai (29°C) était relativement plus faible que celle de l'étude de BEDRANI (2009) où la Ta diurne atteignait en moyenne 31°C.

Ainsi, dans nos conditions, l'acclimatation précoce n'a pas eu d'effet sur la survie des poulets soumis au stress thermique chronique. Nos résultats corroborent ceux obtenus par BEDRANI (2009) avec les mêmes modalités d'acclimatation mais différent de ceux rapportés par DE BASILIO *et al.* (2001), qui trouvent une nette réduction de la mortalité induite par l'application de la technique en conditions tropicales réelles d'élevage au Venezuela. Ces auteurs signalent une réduction significative du taux de mortalité à la 6^{ème} semaine en faveur des animaux acclimatés ($p < 0,001$). Notons toutefois que, dans leurs conditions, la mortalité était similaire durant les 5 premières semaines d'élevage chez les animaux acclimatés et témoins. L'absence d'effet de l'acclimatation sur la mortalité globale de l'élevage dans nos conditions d'essai serait probablement liée à l'acquisition d'une thermotolérance chez les poulets témoins suite à leur exposition quotidienne, courte mais répétée, à des pics de température ambiante excédant les 29-30°C. En effet, WANG et EDENS (1998) ont pu acclimater des poulets en les exposant quotidiennement pendant 1 heure à une Ta de 41°C et ce entre 5 et 6 semaines d'âge, réduisant ainsi la mortalité en fin d'élevage. De même, DE BASILIO *et al.* (2002) rapportent que dans les conditions tropicales naturelles, une variation quotidienne de la température ambiante de 26°C à 36°C, entre le 7^{ème} et le 42^{ème} jour d'âge permet de conférer une thermorésistance aux poulets témoins comparable à celle des animaux acclimatés au 5^{ème} jour d'âge.

Par ailleurs, l'ajout de vitamine C dans l'aliment des poulets n'a pas significativement modifié les taux de mortalités cumulés liés au stress thermique chronique de notre essai ($p>0,05$). Des variations non significatives de la mortalité ont été également signalées par NJOKU (1986) chez des poulets élevés en conditions tropicales supplémentés en vitamine C (200 ou 400ppm) entre 0 et 8 semaines d'âge. D'après KAFRI et CHERRY (1984), l'apport de vitamine C atténue les fortes mortalités induites par le stress thermique. DAVID et BRAKE (1985) rapportent une baisse de 15% des taux de mortalité de poulets soumis au stress thermique et supplémentés avec 1000ppm de vitamine C. Enfin, les travaux de ROUSSAN *et al.* (2008) mentionnent également une amélioration de la survie lors de supplémentation hydrique d'acide ascorbique (62,5 mg/l) associée à d'autres électrolytes, chez des poulets soumis à un stress thermique cyclique entre 35 et 42j d'âge. Notons que dans nos conditions, la mortalité enregistrée chez les témoins (non acclimatés et non supplémentés en vitamine C) ne dépassait pas les 1%, ce qui dénote un effet moindre du stress thermique sur la survie du poulet en raison probablement de l'acclimatation naturel de ces sujets tel mentionné précédemment.

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...quel impact sur la mortalité liée au stress thermique aigu final ?

Dans cet essai, nous avons voulu évaluer la thermorésistance des poulets acclimaté et/ou supplémentés en vitamine C en les soumettant à un coup de chaleur simulé en fin d'élevage (35°C pendant 6 heures au 50^{ème} jour d'âge).

D'après nos résultats, l'acclimatation précoce a nettement amélioré la survie des poulets suite au coup de chaleur provoqué (-89% par rapport aux témoins ; $p<0,05$). Cette baisse de mortalité est de même amplitude que celle trouvée par BEDRANI (2009) avec un modèle expérimental comparable (-85%, $p<0,05$). D'autres auteurs rapportent des réductions de mortalité de moindre amplitude (-63% en moyenne) lorsque les poulets sont maintenus à la thermoneutralité entre le stress thermique initial et final (ARJONA *et al.*, 1989 ; BOUGON *et al.*, 1996; YAHAV *et al.*, 1997a ; YAHAV et MC MURTY, 2001). L'amélioration accentuée de la survie des poulets obtenue dans nos conditions après le 2^{ème} stress thermique, pourrait être liée à l'acquisition d'une thermotolérance supplémentaire induite par l'exposition chronique des animaux à la chaleur (29°C en moyenne) entre les 2 stress thermiques.

De façon similaire, l'addition de vitamine C dans l'aliment tend aussi à réduire la mortalité des poulets après le stress thermique final (-28% ; $p=0,24$). Dans l'étude de DAHMANI (2009), une meilleure survie a été mentionnée après un coup de chaleur provoqué (37°C durant 6 heures à J53) chez des poulets élevés en conditions estivales algériennes et recevant une supplémentation hydrique en vitamine C associée à une mise à jeun diurne (mortalité réduite de 50% par rapport aux témoins).

Enfin, dans nos conditions, l'association des 2 traitements (acclimatation précoce et supplémentation alimentaire en vitamine C) a eu un impact positif et significatif sur la survie des poulets après le coup de chaleur final. En effet, une réduction significative de la mortalité a été observée dans ces conditions (-59%, $p<0,05$). Les mécanismes impliqués méritent d'être approfondis ultérieurement.

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...quel impact sur la qualité de la carcasse et le poids des organes lymphoïdes?

D'après nos résultats relatifs aux caractéristiques de la carcasse, mesurées à la fin de l'essai, l'acclimatation précoce n'a pas eu d'effet significatif sur le poids relatif de la carcasse prête à cuire ou des différents viscères (cœur, foie et gésier) des poulets élevés en ambiance chaude mais a significativement diminué la proportion de gras abdominal (-29%, $p<0,05$). Cette réduction de l'engraissement induite par l'acclimatation précoce observée dans notre étude a aussi été signalée dans l'expérience de YAHAV et HURWITZ (1996). En revanche, dans l'essai de BEDRANI (2009), l'acclimatation précoce a induit une augmentation du poids relatif de la carcasse sans modification notable des proportions de gras abdominal ou des viscères. Une augmentation significative des muscles pectoraux a été aussi signalée par d'autres auteurs chez des animaux acclimatés (DE BASILIO, 1999 ; HALEVY *et al.*, 2001). Ces auteurs attribuent un tel résultat à un meilleur dépôt protéique reflété notamment par une prolifération des cellules satellites au niveau de ce muscle et par une stimulation accrue de la sécrétion du facteur de croissance IGF1.

Dans nos conditions, la supplémentation alimentaire en vitamine C n'a eu aucun effet sur les caractéristiques de la carcasse des poulets soumis au stress thermique chronique. Nos résultats concordent avec ceux de NJOKU (1986) où les différentes doses de vitamine C testées (100, 200 et 300ppm rajoutées dans l'aliment durant 8 semaines) n'ont pas fait varier

les paramètres de la carcasse des poulets élevés en conditions tropicales. En revanche, une baisse d'engraissement induite par l'apport de vitamine C est observée par KUTLU (2001).

Notons, tout de même, que dans la présente étude, lorsque la supplémentation en vitamine C est associée à l'acclimatation précoce, l'engraissement semble réduit (-13%, $p=0,20$) et le poids relatif du gésier augmenté (+8%, $p=0,16$). Dans l'étude de DAHMANI (2009), la supplémentation en vitamine C associée à la restriction alimentaire n'a pas d'effet sur le rendement de la carcasse et le poids des viscères (exprimés en valeurs absolues ou rapportés au poids vif des animaux). Mais dans ces mêmes conditions, une baisse significative de la proportion de gras abdominal est relevée.

Sachant que le stress thermique chronique entraîne une augmentation du tissu adipeux abdominal chez le poulet (AINBAZIZ, 1996), nous pouvons conclure que, dans nos conditions, l'acclimatation précoce seule ou associée à la supplémentation alimentaire en vitamine C a permis de limiter cet engraissement excessif.

Enfin, au vu de nos résultats, aucun des deux traitements (acclimatation précoce et supplémentation en vitamine C), appliqués seuls ou en association, n'a eu d'effet sur les poids relatifs des organes lymphoïdes (rate, thymus et bourse de Fabricius) des poulets soumis au stress thermique chronique. En effet, les écarts observés entre les 4 groupes expérimentaux n'étaient pas significatifs. De même, MAJEKODUNMI *et al.* (2012), n'ont pas trouvé de variations significatives des poids des organes lymphoïdes des poulets élevés au chaud et supplémentés avec 300ppm de vitamine C dans l'aliment. En revanche, CURCA *et al.* (1998) rapportent une réduction significative du poids relatif de la bourse de Fabricius (-30%) sans variation notable de la rate ou du thymus lors de supplémentation alimentaire avec 200ppm de vitamine C chez des poulets élevés au chaud (T_a de 28 à 32°C).

Selon CAZABAN et YANNICK (2011), l'apparence, la taille et le poids des organes lymphoïdes, en particulier la bourse de Fabricius peuvent évoquer certains troubles physiologiques tels le stress ou les pathologies. Il n'existe aucune norme de taille pour un âge donné à une race déterminée car cet organe est connu pour être affectés par divers facteurs tels que l'âge, la race, le sexe et les conditions d'élevage. Cependant, il est connu que sur le plan immunologique, un coup de chaleur peut causer des dommages temporaires ou irréversibles au niveau des organes lymphoïdes primaires (bourse de Fabricius et thymus) ainsi qu'une atrophie de la rate, entraînant alors une immunodépression (BEDRANI, 2009).

Acclimatation précoce & supplémentation alimentaire en vitamine C...

...quel impact sur les paramètres sanguins et la température rectale ?

Dans nos conditions, l'acclimatation précoce n'a pas induit de variations significatives de l'hématocrite, de l'hémoglobininémie ou du nombre de GR mesurés à l'âge de 49j chez les poulets soumis au stress thermique chronique mais ce traitement a significativement réduit le nombre de plaquettes sanguines (-16%, $p < 0,05$). Par contre l'ajout de vitamine C dans l'aliment, seul ou associé à l'acclimatation précoce, semble réduire l'ensemble des paramètres sanguins mesurés (hématocrite, l'hémoglobininémie et nombre de GR et de plaquettes). Néanmoins, les écarts relevés n'atteignent pas le seuil de signification statistique (-8% en moyenne, $p > 0,11$). Dans l'étude de CURCA *et al.* (1998), la supplémentation alimentaire avec 200 ppm de vitamine C n'a pas aussi significativement modifié les paramètres sanguins mesurés chez les poulets exposés à une Ta de 28 à 32°C (-15% pour l'hématocrite ; -10% pour le nombre de GR ; +9% pour l'hémoglobininémie).

Par ailleurs, dans nos conditions d'essai, l'acclimatation précoce n'a pas eu d'impact significatif sur la température rectale mesurée à l'âge de 36, 42 ou 49j. Les résultats de BEDRANI (2009) montrent la température corporelle des poulets mâles acclimatés puis soumis à un stress thermique aigu de 35°C en finition (50^{ème} jour d'âge pendant 6 heures) est significativement réduite d'environ 0,13°C à jeun, et de 0,32°C à l'état nourri. Une baisse de la température corporelle d'environ 0,3°C chez des poulets acclimatés nourris comparés aux témoins a été aussi rapportée par YAHAV *et al.* (1997a) et DE BASILIO *et al.* (2001).

En revanche, la supplémentation alimentaire en vitamine C, seule ou associée à l'acclimatation précoce, a augmenté la température rectale des poulets à la fin de l'essai d'environ 0,4°C. Ces résultats vont à l'encontre de ceux obtenus par KUTLU et FORBES (1993) qui rapportent plutôt une diminution de la température corporelle (mesurée au niveau rectal et au niveau de la peau) chez des poulets supplémentés avec des doses croissantes de vitamine C (250 à 1000 ppm) lors de stress thermique (36°C durant 6 à 10h/j, entre j7 et j28). Aussi les mécanismes physiologiques impliqués dans ce phénomène restent à explorer.

Cette étude nous a permis d'évaluer l'impact de l'association d'une solution technique, en l'occurrence l'acclimatation précoce, avec une solution nutritionnelle basée sur la supplémentation alimentaire en vitamine C, en vue de pallier aux effets négatifs induits par le stress thermique (chronique et aigu) sur la croissance et la survie du poulet de chair élevé en période estivale.

Dans nos conditions de stress thermique chronique, l'acclimatation précoce, seule ou associée à l'addition de vitamine C dans l'aliment n'a pas eu d'effet significatif sur les performances de croissance, la survie ou les caractéristiques de la carcasse des poulets, mise à part une réduction significative de la proportion du gras abdominal. En revanche, la supplémentation en vitamine C, seule, semble améliorer la croissance et l'indice de conversion alimentaire dans ces conditions.

Par ailleurs, aucun effet significatif de l'acclimatation précoce avec ou sans supplémentation alimentaire en vitamine C, n'a été relevé sur les températures rectales ou sur les poids des organes lymphoïdes (rate, thymus et bourse de Fabricius) ou les paramètres hématologiques (hématocrite, hémoglobininémie et nombre de globules rouges).

En revanche, lors de l'application d'un stress thermique aigu en fin d'élevage, les traitements appliqués, seuls ou en association ont nettement réduit la mortalité des poulets.

Finalement, l'association de ces deux traitements n'a pas eu l'effet positif escompté sur les performances de croissance des poulets exposés de manière chronique au stress thermique mais demeure intéressante pour limiter l'augmentation de la mortalité induite par les coups de chaleur.

Des études ultérieures devraient préciser l'impact de l'association de l'acclimatation précoce et de la vitamine C sur les différents mécanismes impactés, cela en modifiant les dosages de la vitamine C soit en augmentant soit en diminuant la dose.

A

- AENGWANICH W. & SIMARAKS S., **2004**. Pathology of heart, lung, liver and kidney in broilers under chronic heat stress. *The Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(3), pp 417-424.
- AENGWANICH,W., SRIDAMA, P., PHASUK, Y., VONGPRALAB, T., PAKDEE, P., KATAWATIN, S. AND IMARAKS, S., **2003**. Effects of ascorbic acid on cell mediated, humoral immune response and pathophysiology of white blood cell in broilers under heat stress *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 25(3) : 297-305
- AIN BAZIZ H, GERAERT PA, PADILHA JC.F & GUILLAUMIN S, **1996**. Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. *Poultry Science*, 75, pp 505-513. GERAERT, 1991
- AL-FATAFTAH ARA. & ABU-DIEYEH ZHM., **2007**. Effect of chronic heat stress on broiler performance in Jordan. *International Journal of Poultry Science*, 6(1), pp 64-70.
- AL-FATAFTAH, A.A, **1987**. Effect of high environmental temperature on broiler performance (Review) *Journal of Dirasat* 14: 177-191.
- ALTAN, O., ALTAN, A., CABUK. M., and BAYRAKTAR, H, **2000**. Effect of heat stress on some blood parameter. *Turk Veterinerlik Ve Hayvancilik Dergisi* 24: 145-148.
- AMAND G., AUBERT C., BOURDETTE C., BOUVAREL I., CHEVALIER D., DUSANTER A., FRANCK Y, GUILLOU M, HASSOUNA M, LE BIAVAN R., MAHE F., PRIGENT JP., ROBIN P., **2004**. La prévention du coup de chaleur en aviculture. *Sciences et Techniques Avicoles - Hors-série - Mai 2004*.
- ARJONA, A.A., DENBOW, D.M. and MEAVER, W.D, **1989**. Effect of heat stress early in life on mortality of broilers exposed to high environmental temperature just prior to marketing. *Poultry Science* 67: 226-231.
- ARJONA A., DENBOW D. & WEAVER W., **1990**. Neonatally-induced thermotolerance: physiological responses. *Comparative Biochemistry and Physiology Journal*, 95A, pp 393-399.
- AUSTIC RE., **1985**. Feeding poultry in hot and cold climates. In Ed YMK (ed.) *Stress physiology in livestock*. CRC Press, USA, pp. pp 123-36.

B

-
- BEDRANI L., 2009, Impact de la technique d'acclimatation précoce sur la croissance et l'état sanitaire du poulet de chair élevé en ambiance chaude. Mémoire de magister es sciences vétérinaires, Ecole nationale supérieure vétérinaire, 91 pages.
- BELAY T & TEETER RG., **1996**. Effects of ambient temperature on broiler mineral balance partitioned into urinary and faecal loss. *British Poultry Science*, 37, pp 423-33.
- BOLLENGIER-LEE, S, **1998**. Influence of High Dietary vitamin E supplementation on egg production and plasma characteristics in hens subjected to heat stress. *British Poultry Science* 39: 106-112.
- BORGES, S.A., ARIKI, J., MARTINS, C.L. and DE MORAES, V.B.M, **1999**. Potassium Chloride supplementation in heat stress broilers. *Revista Brasileira de Zootecna* 28: 313-319.
- BOTTJE, W.G. & HARRISON P.C., **1985**. The effects of tap water, carbonated water, sodium bicarbonate, and calcium chloride on blood acid –base balance in cockerels subjected to heat stress. *Poultry Science*.64 ;107-114.
- BOUGON M., LE MENEC M., BALAINE L. & LAUNAY M., **1996**. Influence d'un stress thermique à 5 jours et d'une mise à jeun des poulets, lors d'un coup de chaleur à 37 jours, sur la mortalité. *Sciences et Techniques Avicoles*, 14, pp 4-11.

C

- CAZABAN C. & YANNICK G (2011), Bursa of fabricius is a visual indicator Part1. *World Poultry*, 27:10.
- CHAKROUN, C., **2004**. Les effets de la chaleur en aviculture. *Volaille de Tunisie Revue scientifique et technique du secteur avicole en Tunisie*, N°-33, Septembre 2004.
- CHARLES DR, **2002**. Responses to the thermal environment. In: *Poultry environment problems, a guide to solutions* (Charles DA and Walker AW Eds.), Nottingham University Press, UK, pp 1-16.
- ÇINAR A., FERDA B., NURCAN D., ABUZER T., MUZAFFER S. & MUSTAFA T., **2006**. Effects of stress produced by adrenocorticotropin (ACTH) on ECG and some blood parameters in vitamin C treated and non-treated chickens. *Journal on the faculty of veterinary medicine university of Zagreb. Veterinarski Arhiv*, 76 (3), pp227-235.
- COLLIN A, CASSY S, BUYSE J, DECUYPERE E, DAMON M., **2005**. Potential involvement of mammalian and avian uncoupling proteins in the thermogenic effect of thyroid hormones. *Domest Anim Endocrinol*. 29(1):78-87.
- COLLIN A, BERRI C, TESSERAUD S, RODÓN FE, SKIBA-CASSY S, CROCHET S, DUCLOS MJ, RIDEAU N, TONA K, BUYSE J, BRUGGEMAN V, DECUYPERE E, PICARD M, YAHAV S., **2007**. Effects of thermal manipulation during early and

late embryogenesis on thermotolerance and breast muscle characteristics in broiler chickens. *Poult Sci.*, 86(5):795-800.

CURCA D., et al (1998 CURCĂ, D., ANDRONIE, V., ANDRONIE, I. **1998**. The effect of ascorbic acid on poultry under thermal stress. III International Congress of Pathophysiology, Lahti-Finland, 28 June-3 July. Abstract-Book: Pathophysiology, volume 5 (Supplement 1), June, p. 269.

D

DAHMANI Y., **2009**. Effet de la supplémentation en vitamine C, en électrolytes et en acide acétique, associée à la restriction alimentaire sur la croissance, l'équilibre acido-basique et les cellules immunitaires sanguines du poulet de chair soumis à un stress thermique. Mémoire de Magistère en Sciences vétérinaires – Option « Zootechnie », Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger, 90pages.

DE BASILIO V. & PICARD M., **2002**. Acclimatation précoce : la capacité de survie des poulets à un coup de chaleur est-elle augmentée par une exposition à une température élevée à l'âge de 5 jours ? *INRA Production Animale*, 15, pp 235–245.

DE BASILIO V., **1999**. L'acclimatation précoce et l'alimentation alternée augmentent la résistance des poulets de chair mâles soumis à un stress thermique. Mémoire de diplôme d'études approfondies, université de Rennes1.

DE BASILIO V., VILARIN M. O, YAHAV S. & PICARD M. **2001a**. Early Age Thermal Conditioning and a Dual Feeding Program for Male Broilers Challenged by Heat Stress. *Poultry Science*, 80, pp 29–36

DE BASILIO V., OLIVEROS I., VILARIÑO M., DIAZ, LEON JA. & PICARD M., **2001b**. Intérêt de l'acclimatation précoce dans les conditions de production des poulets de chair au Venezuela. *Médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 54 (2), pp 159-167.

DE BASILIO V., REQUENA F., LEON A., VILARINO M. & PICARD M., **2003**. Early Age Thermal Conditioning Immediately Reduces Body Temperature of Broiler Chicks in a Tropical Environment. *Poultry Science*, 82, pp 1235–1241.

DEATON, J.W., REECE, F.N. and LOTT, B.D. **1984**. Effect of differing temperature cycles on broiler performance. *Poultry Science* 63: 612-615.

DEYHIM F. & TEETER R.G. **1991**. Sodium and potassium chloride drinking water supplementation effects on acid-base balance and plasma corticosterone in broilers reared in thermoneutral and heat-distressed environments. *Poultry Science*. 70, pp 2551-2553.

E

- EL HADI H. & SYKES AH, **1982**. Thermal panting and respiratory alkalosis in the laying hen. *British Poultry Science*, 23, pp 49-57.
- EL HUSSEINY, O. and CREGER, C.R., **1980**. Effect of ambient temperature on mineral retention and balance of the broiler chicks. *Poultry Science* 60: 1651.
- EL-BOUSHY, A.R., SIMONS, P.C.M AND WIERTZ, G. **1968**. Structure and ultrastructure of the hen's egg shell as influenced by environmental temperature, humidity and vitamin C additions. *Poultry Science* 47: 456-467.

F

- FAROOQI HAG, KHAN MS, KHAN MA, RABBANI M, PERVEZ K, KHAN JA, **2005**. Evaluation of betaine and vitamine C in alleviation of heat stress in broilers. *International Journalm of Agriculture and Biology*. Vol7(5):744-746.
- FATHY ABD-EL TWAB ABD-EL HAFZ., **2006**. Study of some anti-heat stress procedures in broilers. Thèse de magister. *Agricultural Science Animal Production (Poultry Physiology)* Department of Animal Production faculty of Agriculture Al-Azhar University. 47p.
- FLETCHER, D.L. and CASON, J.A. **1991**. Influence of ascorbic acid on broiler shrink and processing yields. *Poultry Science* 70:2191-2196.
- FREEMAN B., **1987**. Body temperature and thermoregulation. In: *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*, Academic Press, London, 4, pp 365-377.

G

- GERAERT P.A., **1991**. Métabolisme énergétique du poulet de chair en climat chaud. *INRA Production Animale*, 4, pp 257-267.
- GERAERT P.A., GUILLAUMIN S, LECLERCQ B., **1993**. Are genetically lean broilers more resistant to hot climate? *British Poultry Science*, 34, pp 643-653.
- GERAERT PA, PADILHA JC & GUILLAUMIN S., **1996**. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. *British Journal of Nutrition*, 75, pp195-204.
- GONZALEZ, V.A.D., CONTRERAS, B.P.A., KLEIN, R. AND BOHMWALD, H. **1995**. Effect of vitamin C and E supplementation In the diet of broiler chicks on performance and immune response. *Veterinaria* 26: 333-340.
- GRAY, D., BUTCHETR, D.V and RICHARD, M. **2003**. Heat stress management in broilers, *Veterinary Medecine-large Animal Clinical Science Department*, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida at <http://edis.ifas.ufl.edu/vm019>.

H

HALEVY, O., A. KRISPIN, Y. LESHEM, J. MCMURTRY AND S. & YAHAV, **2001**. Early age heat stress accelerates skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation in chicks. *Journal of Physiology*, 281, pp 302-309.

HOWLIDER, M.A.R & ROSE, S.P. **1987**. Temperature and the growth of broilers. *World's Poultry Science Journal* 43: 228-237.

HOWLIDER, M.A.R & ROSE, S.P. **1989**. Rearing temperature and the meat yield of broilers. *British poultry Science* 30: 61-67.

HURWITZ, S., WEISELBERG, M., EISNER, U., BARTOV, I., REINSFIELD, G., SHARVIT, M., NIV, A. and BORNSTEIN, S. **1980**. The energy requirement and performance on growing chickens and turkeys as affected by environmental temperature. *Poultry Science* 59: 2290-2299.

I

J

K

KAFRI, I. and CHERRY, J.A. **1984**. Supplemental ascorbic acid and heat stress in broiler chicks. *Poultry Science* 63: 125.

KUTLU, H.R and FORBES, J.M. 1993. Changes in growth and blood parameters in heat-stressed broiler chicks in response to dietary ascorbic acid. *Livestock production Science* 36: 335-350.

KUTLU, HR. **2001**. Influences of wet feeding and supplementation with ascorbic acid on performance and carcass composition of broiler chicks exposed to a high ambient temperature (résumé) . *Arch Tierernahr.* 5452.127-39.

KUTSKY, J.R. **1922**. Ascorbic acid in: ROMAN, J.K (Ed.) *Handbook of vitamins and hormones*, pp. 227-299.

L

-
- LOHAKARE J. D., RYU M. H., HAHN T.W., LEE J. K. & CHAE B. J., **2005**. Effects of Supplemental Ascorbic Acid on the Performance and Immunity of Commercial Broilers. *Journal of Applied Poultry Res.* 14:10–19.
- LIEW P. K., ZULKIFLI I., HAIR-BEJO M., OMAR A. R., & ISRAF D. A., **2003**. Effects of Early Age Feed Restriction and Heat Conditioning on Heat Shock Protein 70 Expression, Resistance to Infectious Bursal Disease, and Growth in Male Broiler Chickens Subjected to Heat Stress. *Poultry Science*, 82, pp1879–1885.
- LKIFLI I., CHE NORMA MT., ISRAF DA. & OMAR AR., **2000**. The Effect of Early Age Feed Restriction on Subsequent Response to High Environmental Temperatures in Female Broiler Chickens. *Poultry Science*, 79, pp1401–1407.
- LOHAKARE J. D., RYU M. H., HAHN T.W., LEE J. K. & CHAE B. J., **2005**. Effects of Supplemental Ascorbic Acid on the Performance and Immunity of Commercial Broilers. *Journal of Applied Poultry Res.* 14:10–19.

M

- MAJEKODUNMI B.C., OGUNWOLE O.A. AND SOKUNBI O.A. **2012**. Effect of Supplemental Electrolytes and Ascorbic Acid on the Performance and Carcass Characteristics of Broiler Raised During High Temperature Period in Nigeria. *Int. J. Poult. Sci.*, 11 (2): 125-130
- MCDONALD K., BELAY T., DEYHIM F. & TEETER R., **1990**. Comparison of the 5-day acclimation and fasting techniques to reduce broiler heat distress mortality. *Poultry Science*, 69, pp 196-202.
- MCKEE, J.S. and HARRISON, P.C. **1995**. Effect of supplemental ascorbic acid and the performance of broiler chickens exposed to multiple concurrent stressors. *Poultry Science* 74: 1772-1785.
- MCKEE, J.S., HARRISON, P.C. and RISKOWSKI, G.I. **1997**. Effect of supplemental ascorbic acid on the energy conversion of broiler chicks during heat stress and feed withdrawal. *Poultry Science* 76: 1278-1286.
- Meltzer A., 1987. Acclimatization to ambient temperature and its nutritional consequences. *World Poultry Science Journal*, 43, pp33-34.
- MITCHELL ET CARLISLE, 1992 MITCHELL MA, CARLISLE AJ. **1992**. The effects of chronic exposure to elevated environmental temperature on intestinal morphology and nutrient absorption in the domestic fowl (*Gallus Domesticus*). *Comp Biochem Physiol.* 101A : 137-42.
- MOGENET, L.Y. and YOUBICIER-SIMO, B.J. **1998**. Determination of reliable biochemical parameters of heat stress and application to the evaluation of medications: example of

erythromycin E. Proceedings of 10th European Poultry Conference, Jerusalem, Israel, pp 538-541.

N

NASEEM, S.M., ANWAR, Y.B., GHAFOOR, A. and AKHTER, S. **2005**. Effect of ascorbic acid and acetylsalicylic acid and supplementation on performance of broiler chicks exposed to heat stress. International Journal of Poultry Sciences 4: 900-904.

NJOKU, P.C. **1986**. Effect of dietary ascorbic acid (vitamin C) supplementation on the performance of broiler chickens in a tropical environment. Animal Feed Science and Technology, 1986, 16: 17-24. ;

O

P

PADILHA JFC., **1995**. Influence de la chaleur sur le métabolisme énergétique et sa régulation chez les poulets en croissance. Thèse de Doctorat de l'Université de Tours, p.205

PARDUE, S.I. and THAXTON, J.P. **1986**. Ascorbic acid in poultry: A review. World's Poultry Science Journal 42: 107-123.

PURON, D., SANTAMARIA, P. and SEGURA, J.C. **1994**. Effect of Sodium Bicarbonate, Acetylsalicylic and Ascorbic acid on broiler performance in a tropical environment. Journal of Applied Poultry Research 3 : 141-145.

PURON D. ET RAUL SANTAMARIA S.J.C., **1997**. Sodium Bicarbonated and broiler performance at a high stocking densities in a tropical environment. journal. Appleid. Poultry. Res.6, pp 443-448

PUTHPONGSIRIPORN U., SCHEIDELER SE., SELL JL., BECK MM., **2001**. Effects of vitamin E and C supplementation on performance, in vitro lymphocyte proliferation, and antioxidant status of laying hens during heat stress. Poultry Science. 80(8), pp 1190-200

Q

R

RICHARDS, M.P. 1997. Trace mineral metabolism in the avian embryo. Poultry Science 76: 152-164.

ROUSSAN D. A., KHWALDEH G. Y, HADDAD R. R., SHAHEEN I. A., SALAMEH G. & AL RIFAI R., **2008**. Effect of Ascorbic Acid, Acetylsalicylic Acid, Sodium Bicarbonate, and Potassium Chloride Supplementation in Water on the Performance of Broiler Chickens Exposed to Heat Stress. *Journal Applied poultry. RES.* 17. pp 141-144.

S

SAHIN, K., KUCUK, O. **2003**. Heat stress and vitamin supplementation of poultry diets. Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, School of Veterinary Medicine, University of Firat; Elazig, 23119: 37.

SAVIC, V., MIKEC, M., PAVICIC. P. and TISIJAR, M. **1993**. Effect of repeated heat stress on the humoral immune response and productivity of broiler chicks. *Veterinarska Stanica* 24: 195-202.

SEEHAWER, K.E. **2001** Significance and application of ascorbic acid in poultry. *Archiv für Geflügelkunde* 65: 106-113.

SYKES A. & FATAFTAH A., **1986**. Acclimatization of the fowl to intermittent acute heat stress. *British Poultry Science*, 27, 289-300.

SZENT, G and GYORGI, A. **1928**. Ascorbic acid, in SEBREL W.H & HARRIS, R.S (Eds) *Vitamins* vol 11, pp. 306-501 (Academic Press, London).

T

TEETER RG., SMITH MO., OWENS FN., ARP SC., SANGIAH S. & BREAZILE JE, **1985**. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. *Poultry Science*, 64, pp1060-1064.

TEMIM S., **2000**. Effet de l'exposition chronique à la chaleur et de l'ingéré protéique sur le métabolisme protéique du poulet de chair en finition. Thèse de doctorat d'état, Université d'Aix Marseille, p 109.

TESSERAUD S. & TEMIM S., **1999**. Modifications métaboliques chez le poulet de chair en climat chaud : conséquences nutritionnelles. In: *INRA Production Animale*, 12(5), pp 353-363.

THRONTON, P.A. **1961**. Increased environmental temperature influences on ascorbic acid. *Federal Procedure* 20: 210.

U

UNI Z., GAL-GARBER O., GEYRA A., SKLAN D. & YAHAV S., **2001**. Changes in growth and function of chick small intestine epithelium due to earlythermal conditioning. Poultry Science, 80, pp 438–445.

V

VAN KAMPEN, M. **1981**. Thermal influences on Poultry, in : CLARK, J.A. (Ed). Environmental Aspects of Housing for Animal Production (Butterworths, London, England).

VATHANA, S., KANG, K., LOAN, C.P., THINGGAARD, G., KABASA; J.D and MEULEN, U.T. **2002**. Effect of vitamin c supplementation performance of broiler chicken in Cambodia. Conference on international agricultural research for development Witzenhausen, October 9-11 Deutscher Tropentag.

W

WANG S. & EDENS FW., **1998**. Heat conditioning induces heat shock proteins in broiler chickens and turkey poults. Poultry Science, 77, pp 1636–1645.

WHITTOWS C., **1986**. Regulation of body temperature. Avian Physiology, 4, pp 221-252.

X

Y

YAHAV, S. & HURWITZ S., **1996**. Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. Poult. Sci. 75:402–406.

YAHAV S., SHAMAI A., HABERFELD G., HORDEN G., HURWIT Z. & FRIEDMAN E., **1997a**. Effect of acquisition of improved thermotolerance on the induction of heat Shock proteins in broiler chickens. Poult. Sci., 76, pp 1428-1434.

YAHAV S., STRASCHNOW A., PLAVNIK I. & HURWITZ S., **1997b**. Blood system response of chickens to changes in environmental temperature. Poultry Science, 76, pp 627-633.

YAHAV S. & MCMURTRY J.P., **2001**. Thermotolerance acquisition in broiler chickens by temperature conditioning early in life – The effect of timing and ambient temperature. Poult. Sci., 80, pp 1662-1666.

YAHAV S., STRASCHNOW A., LUGER D., SHINDER D., TANNY J. & COHEN S, **2004a**. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh

environmental conditions. *Poultry Science*, 83, pp 253-258. BOTTJE *et al.*, 1983; LE MENEZ, 1987

YAHAV S., COLLIN A., SHINDER D. & M. PICARD, **2004b**. Thermal Manipulations During Broiler Chick Embryogenesis: Effects of Timing and Temperature. *Poultry Science*, 83, pp 1959–1963.

Z

ZHOU W., FUSITA M. & YAMAMOTO S., **1997**. Effects of early heat exposure on thermoregulatory responses and blood viscosity of broilers prior to marketing. *Br. Poultry Science*, 38, pp 301-306.

ZULKIFI, I., NORMA, M.T., ISRAF, D.A. and OMAR, A.R. **2000**. The effect of early age feed restriction on subsequent response to high environmental temperature in female broiler chickens. *Poultry Science* 79: 1401-1407.

ZUPRIZAL, M., A. LARBIER, M. CHAGNEAU AND P. A. GERAERT. **1993**. Influence of ambient temperature of true digestibility of protein and amino acids of rapeseed and soybean meal in broilers. *Poult. Sci.* 72:289-295.

Résumé

Nous avons évalué l'impact de l'acclimatation précoce (exposition des poussins au 5ème jour d'âge à une température de 38°C pendant 24h) associée à une supplémentation alimentaire en vitamine C (acide ascorbique : 400ppm) sur les performances zootechniques et quelques paramètres physiologiques des poulets de chair mâles élevés en conditions estivales Algériennes. Au total, 440 poulets mâles âgés de 28 jours ont été répartis en 4 lots (5 répétitions de 22 sujets) : un lot témoin (T) non acclimaté et nourri avec un aliment standard adapté à l'âge, un lot (A) acclimaté à J5 et nourri avec l'aliment standard, un lot (VC) non acclimaté et nourris à partir de J28 avec le même aliment standard mais supplémenté en vitamine C et un lot (AVC) acclimaté à J5 et supplémenté en vitamine C à partir de J28. Entre le 28ème et le 49ème jour, d'âge, les 4 lots ont été exposés aux fluctuations naturelles de la température ambiante (Ta) estivale (29°C en moyenne ; hygrométrie relative moyenne de 59% : conditions de stress thermique chronique). A l'âge de 50j, un coup de chaleur a été provoqué en exposant l'ensemble des poulets à une Ta de 35°C pendant 6 heures (stress thermique aigu). Dans nos conditions de stress thermique chronique, l'acclimatation précoce, seule ou associée à l'addition de vitamine C dans l'aliment, n'a pas eu d'effet significatif sur les performances de croissance, la survie ou les caractéristiques de la carcasse des poulets, mise à part une réduction significative de la proportion du gras abdominal (-29%, $p < 0,001$). En revanche, dans ces conditions, la supplémentation en vitamine C (seule), semble améliorer la croissance globale (+6%, $p = 0,09$) et l'indice de conversion alimentaire cumulé (-4%, $p = 0,25$). Par ailleurs, aucun effet significatif de l'acclimatation précoce, avec ou sans supplémentation alimentaire en vitamine C, n'a été relevé sur les températures rectales ou sur les poids des organes lymphoïdes (rate, thymus et bourse de Fabricius) ou les paramètres hématologiques (hématocrite, hémoglobémie et nombre de globules rouges). Toutefois, lors de l'application d'un stress thermique aigu en fin d'élevage, la mortalité des poulets a été nettement réduite grâce à l'acclimatation précoce appliquée seule (-89%, $p < 0,001$) ou en association avec la supplémentation en vitamine C (-59%, $p < 0,05$). En conclusion, l'association de ces deux traitements n'a pas eu l'effet positif escompté sur les performances de croissance des poulets exposés de manière chronique au stress thermique mais demeure intéressante pour limiter les mortalités induites par les coups de chaleur.

Mots clés : Stress thermique, Acclimatation précoce, chaleur ambiante, vitamine C, acide ascorbique, poulet de chair, performances zootechniques, rendement de carcasse, paramètres sanguins, température rectale.

Abstract

We evaluated the impact of early thermal conditioning (exposure of chicks a 5 days of age at a temperature of 38 °C for 24 hours) associated with dietary supplementation with vitamin C (Ascorbic acid: 400ppm) on the zootechnical performances and some physiological parameters of male broiler chickens reared under Algerian summer conditions, between 28 and 49 days of old. A total of 440 males broiler chickens of 28 days-old were divided into 4 groups (5 replicates of 22 subjects each): in the control group (T) birds were non-acclimated and fed a standard diet adapted to the age, in the group (A) birds were acclimated at 5-d-old and fed a standard diet, in the group (VC) they were non-acclimated and fed from 28-d-old with standard diet supplemented with vitamin C ; in the AVC group, chickens were acclimated 5-d-old and supplemented with vitamin C 28-d-old. In our conditions of chronic heat stress, early thermal conditioning, alone or associated to the dietary addition of vitamin C had no significant effect on growth performance, survival, or carcasses characteristics of the chicken, except for a significant reduction in the proportion of abdominal fat (-29%, $p < 0.001$). In contrast, in these conditions, dietary supplementation with vitamin C (alone), seemed to improve overall growth (+6%, $p = 0.09$) and the cumulative feed conversion ratio (-4%, $p = 0.25$). Furthermore, no significant effect of early thermal acclimatization, alone or associated to the dietary supplementation with vitamin C, was found on the rectal temperature or the weight of lymphoid organs (spleen, thymus and bursa of Fabricius) nor haematological parameters (hematocrit, hemoglobin and red blood cell count). However, after a thermal challenge at 50d-old, the mortality rate was significantly reduced by early thermal acclimatization, applied alone (-89%, $p < 0.001$) or in combination with the dietary supplementation with vitamin C (-59%, $p < 0.05$). In conclusion, the combination of these two treatments did not have the expected positive effect on growth performance of broilers chronically exposed to heat stress, but remains interesting to limit mortality caused by an acute heat stress.

Key-words : Early thermal conditioning, Heat stress, ambient heat, vitamin C, ascorbic acid, broiler growth performance, carcass yield, blood parameters, rectal temperature.

ملخص

الهدف من هذه التجربة هو تقييم تأثير التأقلم المبكر (في اليوم الخامس من العمر لدرجة حرارة تقدر ب 38 درجة مئوية لمدة 24 ساعة) مشترك مع مكمل غذائي: فيتامين سي (حمض الأسكوربيك: 400 جزء في المليون) على أداء تربية حيوانات من الفريج تتعرض لتقلبات طبيعية في حرارة الصيف ما بين 28 و 49 يوما من العمر. تم تقسيم مجموعته 440 فروج (ذكور)، الذين تتراوح أعمارهم بين 28 يوما، إلى 4 مجموعات (حيث تتكون كل واحدة من 5 تكرارات من 22 فروج): قسمة "الشاهد"

غير متأقلم و يتحصل على غذاء عادي، قسمة "المتأقلم" في اليوم الخامس و يتحصل على غذاء عادي، قسمة "الفيتامين سي" غير متأقلم و يتحصل على غذاء ممزوج مع الفيتامين سي، قسمة "الفيتامين سي المتأقلم" في اليوم الخامس و يتحصل على غذاء ممزوج مع الفيتامين سي. ما بين يوم 28 و 49 تعرضة الأقسمة الأربعة الى التغيرات الجوية (29° مأوية)، في اليوم 50 تعرض الدجاج لدرجة حرارة معدلها 37° مأوية لمدة 6 ساعات في ظروف الإجهاد الحراري المزمّن، المتأقلم المبكر، وحدها أو مقترنة بإضافة فيتامين سي في الغذاء، لا تؤثر إلى حد كبير على أداء النمو، والبقاء على قيد الحياة، أو الخصائص ذبيحة الدجاج، وبصرف النظر عن انخفاض كبير في نسبة الدهون في منطقة البطن (29%، $p > 0.001$). من ناحية أخرى، في هذه الظروف، والتغذية التكميلية بفيتامين سي (لوحدها)، يبدو أن تحسين النمو الإجمالي (+6%، $p = 0.09$) وتغذية مؤشر التحويل (4%، $p = 0.25$) وعلاوة على ذلك، لوحظت أي تأثير كبير ليتأقلم المبكر، مع أو بدون مكملات فيتامين سي (الغذاء، لافي درجات حرارة المستقيم أو أوزان الأجهزة اللمفاوية (الطحال والغدة الصعترية وبورصة فريوسوس) أو معلمات الدم (الهيماتوكريت، هيموغلوبينميا، وعدد من خلايا الدم الحمراء). ومع ذلك، عند تطبيق الإجهاد الحراري الحاد في النهاية تربية، وفيات الدجاج قد خفضت إلى حد كبير بفضل تأقلم أحد أوائل التطبيقية (89%، $p > 0.001$)، أو في تركيبة مع مكملات فيتامين سي (59%، $p > 0.05$)

وفي الختام، رابطة هذه العلاجات اثنين لم يكن الأثر الإيجابي المتوقع على أداء النمو الفراريج مزمّن يتعرضون للإجهاد الحراري، لكنها لا تزال مثيرة للاهتمام للحد من الوفيات الناجمة عن السكتة الدماغية الحرارة

الكلمات المفتاحية: الإجهاد الحراري، تأقلم المبكر، الحرارة المحيطة، فيتامين سي، حمض الأسكوربيك، الفراريج، تقنيات العناية بالحيوان والأداء، الذبيحة، معلمات الدم، درجة حرارة.